خصائص عمليات التنقية للمياه واستعمالاتها

مقدمة:

الملوثات فى المياه، مهما كان مصدرها، تكون فى أربع صور رئيسية، وهى: مواد عالقة عضوية أو غير عضوية ومواد مذابة عضوية أو غير عضوية وغازات مذابة وكائنات حية دقيقة. ولكن ليس كل مصادر المياه تحتوى على كل هذه الملوثات، وكذلك ليست كل عمليات التنقية للاستخدامات المستقبلية للمياه تبنى على أساس التخلص من كل الملوثات الموجودة فى المصدر المائى. فالمياه من المجارى السطحية العذبة تكون الملوثات فيها هى المواد الصلبة العالقة، وهذه أساساً مواد غير عضوية، وكذلك توجد بها كائنات حية دقيقة مسببة للأمراض الوبائية.

وفى حالة تنقية هذه المياه من المصادر السطحية لاستخدامها فى الشرب، فإن خطة التنقية تبنى على أساس التخلص من المواد الصلبة العالقة والكائنات الحية الدقيقة والوصول بنوعية المياه إلى المعايير المقررة لاستخدام المياه فى الشرب والاستخدام المنزلى. أما بالنسبة للمواد المذابة فى المياه العذبة من المجارى السطحية، فهى تكون عادة فى حدود المعايير المقررة وهى من ٣٠٠-١٠٠٠ جزء فى المليون. وما ينطبق على تنقية المياه من المجارى السطحية العذبة لاستخدامها فى الشرب، ينطبق كذلك على مياه السيول والأمطار حيث تبنى خطة التنقية على التخلص من المواد العالقة والكائنات الدقيقة فقط. بالنسبة لمصادر المياه من الخزانات الجوفية، وإن كانت عموما خالية من المواد العالقة

الصلبة العضوية أو غير العضوية نظراً لحجز هذه الملوثات فى مسام التربة أثناء ضخ المياه من الآبار الجوفية، وكذلك فإنها تكون عادة خالية من الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض؛ خاصة فى حالة ضخ هذه المياه من أعماق تزيد عن ٦٠ متراً من سطح الأرض، إلا إنها قد تحتوى على أنواع أخرى من الملوثات وهى الحديد والمنجنيز، والذى يحدث تغيراً فى لون ومذاق المياه، وقد تحتوى كذلك على غازات مذابة تغير من رائحة المياه، أو قد تكون المياه الجوفية ذات ملوحة عالية أو ذات عسر عال زائد عن المعايير المقررة للشرب.

عندئذ.. فإن خطة المعالجة تبنى على أساس التنقية للمياه من الملوثات الموجودة والوصول بها إلى المعايير المقررة لاستخدامها فى الشرب؛ أى إن المياه الجوفية وإن كانت خالية من المواد العالقة العضوية وغير العضوية والكائنات الحية الدقيقة وفى حالة السحب من الخزانات الجوفية العذبة تكون عادة خالية من الأملاح المذابة وقد تكون خالية من الغازات المذابة، ولذلك فإن التنقية للمياه الجوفية فى حالة وجود ملوثات الحديد والمنجنيز أو الغازات المذابة أو الأملاح المذابة أو العسر الزائد تتم بهدف التخلص من أى من هذه الملوثات فى حالة وجودها. ولكن رغم عدم وجود كائنات حية دقيقة فى المياه من المصادر الجوفية المتوسطة (أكثر من ٦٠ متراً عمق) والعميقة.. إلا أنه يلزم تطهير هذه المياه بالكلور بعد تنقيتها من الملوثات وقبل ضخها فى شبكة توزيع المياه على المستهلكين.

وفى حالة إعداد المياه للشرب من مياه الآبار ذات الملوحة العالية أو من مصادر المياه المالحة الأخرى مثل مياه البحار والمحيطات والبحيرات المالحة، حيث تكون الملوثات أساسًا هى المواد المذابة التى يلزم تنقيتها إلى الحدود المقررة؛ حيث تستخدم عادة التنقية الحرارية (أو الإعذاب) أو باستخدام الأغشية. وفى هذه الحالات لاتستخدم مواد التطهير لقتل

الكائنات الدقيقة إلا فى حالة الضخ فى الشبكة فقط، وإن كانت موجـــودة أصلاً فى المصدر المائى (كما فى حالة البحار والبحيرات المالحـــة) إلا أنه يتم التخلص منها فى مرحلة المعالجة الحرارية أو باستخدام الأغشية.

هذا بالنسبة لإعداد مياه الشرب من المصادر السطحية العذبة أو الجوفيـة أو من المياه المالحة.

ولكن مياه الشرب لها استخدامات أخرى، حيث هى مصدر اســتخدامات المياه فى الأغراض الصناعية أو تغذية الغلايات لإنتـــاج بخـــار المـــاء للتسخين أو لإنتاج الطاقة. وفى هذه الحالات تجرى عمليات التنقية إمـــا لخفض التركيز للاملاح المذابة، كما فى حالـــة اســتخدام الميـــاه فـــى الصناعات الغذائية مثل المياه الغازية، أو إزالة العسر كما فـــى حالـة استخدام المياه فى الغلايات متوسطة الضغط ومنخفضة الضغط، أو فـــى الصناعات الغذائية أو إزالة الملوحة كما فى حالة استخدام الميـــاه فـــى تغذية الغلايات ذات الضغط العالى، أو الوصول بإزالة الملوحة إلى أدنى حد ممكن كما فى حالة استخدام المياه فى صناعة الإليكترونيات.

بالنسبة لمياه الصرف الصحى، فهى تمثل ٧٠% من استهلاك المـــنزلى للمياه، يضاف إليها أحيانا مياه غسيل الشوارع ومياه الأمطار، وإن كـان هذا غير وارد فى معظم الحالات. وتجرى معالجة مياه الصرف الصحى بهدف صرفها على المسطحات المائية، وهى المصارف الزراعية غالبًـا أو أحيانا قد تستخدم فى رى الأراضى. وتتم المعالجة علـــى مرحلتيـن أساسيتين، وهما: المعالجة الأولية للتخلص من الأجسام العالقة والطافيـة حيث تتم هذه المعالجة الأولية فى ثلاث خطوات، وهى: المصافى لحجز الأجسام العالقة والطافية كبيرة الحجم، ثم أحواض حجز الرمال للتخلص من المواد عالية الكثافة مثل الرمال، والتى تؤثر علـــى كفـــاءة عمـل الطلمبات وخطوط المواسير، ثم الترسيب الأولى للتخلص مـــن نسـبة كبيرة من المواد العضوية وغير العضوية القابلة للترسيب الحـــر. أمـــا

المرحلة الثانية فهى المعالجة الثنائية، والتى تشمل عملية التخلص من المواد العضوية العالقة والمذابة بالأكسدة الهوائية أو اللاهوائية، والتى تسمى المعالجة البيولوجية؛ حيث يتم تسخير البكتريا لتتغذى وتنمو وتتكاثر على هذه المواد العضوية فى وجود الأكسجين الجوى (فى حالة المعالجة الهوائية) أو فى عدم وجود الأكسجين الجوى (فى حالة المعالجة اللاهوائية)، وقد يتطلب الأمر استخدام الكلور للقضاء على البكتريا، وذلك مثل الصرف على المسطح المائى أو الاستخدام فى رى الأراضى.

أما البكتريا الهوائية التى نمت وتكاثرت، فإنها تكون فى شكل حمأة يتم التخلص منها فى أحواض الترسيب النهائى، بعد المعالجة البيولوجية ثم يتم تجفيفها واستخدامها فى تسميد التربة. وفى حالة صرف مياه الصرف الصناعى على شبكات الصرف الصحى والمحتوية على مركبات الفوسفور أو النيتروجين، فإن الأمر قد يتطلب التخلص من هذه المركبات؛ نظراً لما تسببه من نمو وتكاثر النباتات المائية فى المجارى المائية هذا إلى ما تسببه من سمية للأحياء المائية، ولذلك تستخدم المعالجات الكيماوية للتخلص من الفوسفور والمعالجات البيولوجية لأكسدة المركبات النيتروجينية، ثم اللاهوائية لتحويلها إلى غاز النيتروجين ومواد ثابتة أخرى.

أما بالنسبة لمياه الصرف الصناعى... فإن عمليات المعالجة لمياه الصرف الصناعى تختلف طبقاً لنوع المنتج النهائى والخامات والمواد الوسيطة المستخدمة فى الإنتاج، وكذلك تكنولوجيا العملية الإنتاجية. وتبنى خطة المعالجة على أساس المعالجة المسبقة للوصول بمياه الصرف إلى المستوى المقرر، إما للصرف على شبكة الصرف الصحى أو الصرف على المجارى المائية، أو لعمل المعالجات التالية لإعادة الاستخدام للمياه، كما فى حالة مياه التغذية للغلايات التى أزيل عسرها و/أو أزيلت ملوحتها.

وفى جميع الحالات، وطبقاً لنوع الصناعة (مثل الصناعات المعدنية، الصناعات الغذائية، صناعة المنسوجات ودباغة الجلود، الصناعات الدوائية، الصناعات البترولية، صناعة الورق ولب الورق، وصناعات الزيوت والمنظفات...إلخ) فإن التخطيط لعملية المعالجة يبنى على أساس فصل مياه الصرف ذات المحتوى المختلف من الملوثات، ثم المعالجة المسبقة لكل على حدة أو معاً.

وتشمل المعالجات التخلص من المواد العالقة والطافية باستخدام المصافى، الطفو، الترسيب، الترويب والترشيح. وكذلك عمليات خاصة أخرى، مثل: التعادل لمعادلة المخلفات الحامضية أو القلوية، عمليات إزالة المعادن الثقيلة باستخدام المروبات، عمليات الأكسدة لمركبات السيانيد، العمليات البيولوجية لمعالجة مياه صرف الصناعات الغذائية... إلخ.

ويلاحظ مما سبق أن عمليات التنقية للمياه من أى مصدر تشمل عمليات رئيسية، وهى التخلص من المواد الصلبة العالقة والطافية. وعمليات خاصة مثل المعالجة البيولوجية، كما فى حالة مياه الصرف الصحى وأنواع من مياه الصرف الصناعى، وعمليات خاصة أخرى لبعض أنواع المياه مثل إزالة الحديد والمنجنيز، أو إزالة الغازات المذابة ذات التأثير على المذاق والرائحة، إزالة العسر، إزالة الملوحة ومعالجة مياه تغذية الغلايات ومياه الاستخدامات الصناعية. وكذلك المعالجة الخاصة لمياه الصرف الصحى لإزالة النيتروجين والفوسفور. كما تم تناول المحافظة على كفاءة شبكات خطوط مواسير نقل المياه ومياه الصرف الصحى.

وفى هذه الدراسة يتم تناول هذه الموضوعات فى ستة فصول، حيث تشمل:

الفصل الأول: خصائص تنقية المياه من المصادر السطحية العزبة لأغراض الشرب.

الفصل الثانى: خصائص تنقية المياه لآبار لاستخدامها فى الشرب.

الفصل الثالث: خصائص المعالجة لمياه الصرف الصحى.

الفصل الرابع: خصائص المعالجة لمياه الصرف الصناعى.

الفصل الخامس: المعالجات الخاصة للمياه واستعمالاتها.

الفصل السادس: خطوط مواسير مياه الشرب والصرف الصحى.

وبذلك يكون قد تم إلقاء الضوء باختصار مقبول على خصائص تنقية المياه، مع اختلاف مصادرها وطرق معالجتها واستخداماتها، بما يمكن من سهولة البحث والتعرف على هذه التقنيات، وذلك للدارسين والباحثين والله الموفق.

المؤلف
مهندس استشارى
محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

خصائص تنقية المياه
من المصادر السطحية العذبة لأغراض الشرب

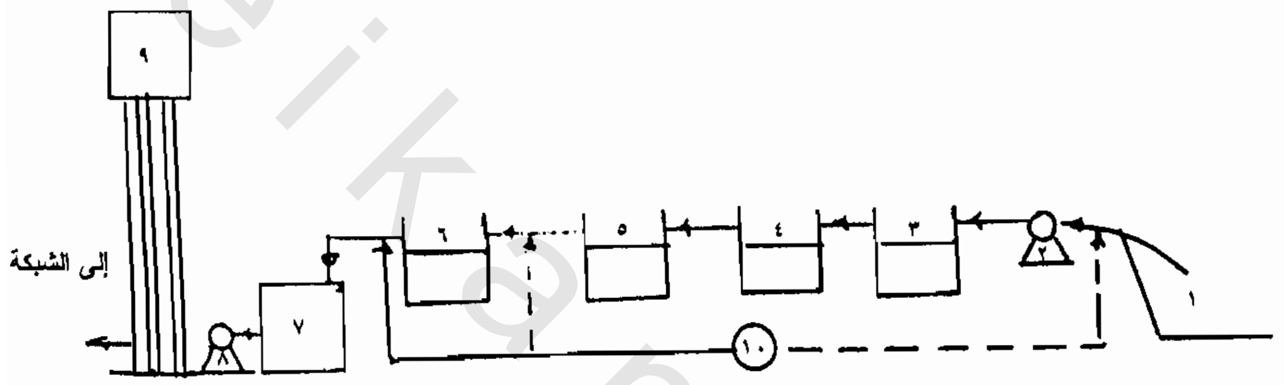
١- مقـدمة

تنقية المياه من المصادر السطحية العذبة:

تتطلب عمليات تنقية هذه المياه والوصول بها إلى المعايير المقررة للمياه لاستخدامها فى الشرب والإستعمالات المنزلية. ومراحل المعالجة كما هو موضح فى الشكل (١/١) تتم أساساً للتخلص من نوعين من الملوثات، وهما: المواد العالقة والكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض. وتشمل عملية إزالة المواد العالقة الحجز باستخدام مصافى المأخذ؛ حيث يتم التخلص من نسبة كبيرة من المواد العالقة والطافية؛ طبقاً لحجم الفتحات للمصافى سواء كانت مصافى القضبان أو المصافى من الصلب المثقب، بعض أنواع المآخذ موضح فى الشكل (١/٢). بعد المآخذ يتم ضخ المياه إلى أحواض المعالجة بالمروبات حيث أحواض المزج السريع ثم المزج البطئ ثم الترسيب. يلى ذلك الترشيح لإزالة ماتبقى من المواد العالقة ثم استخدام الحقن بالكلور قبل ضخ المياه إلى الخزانات.

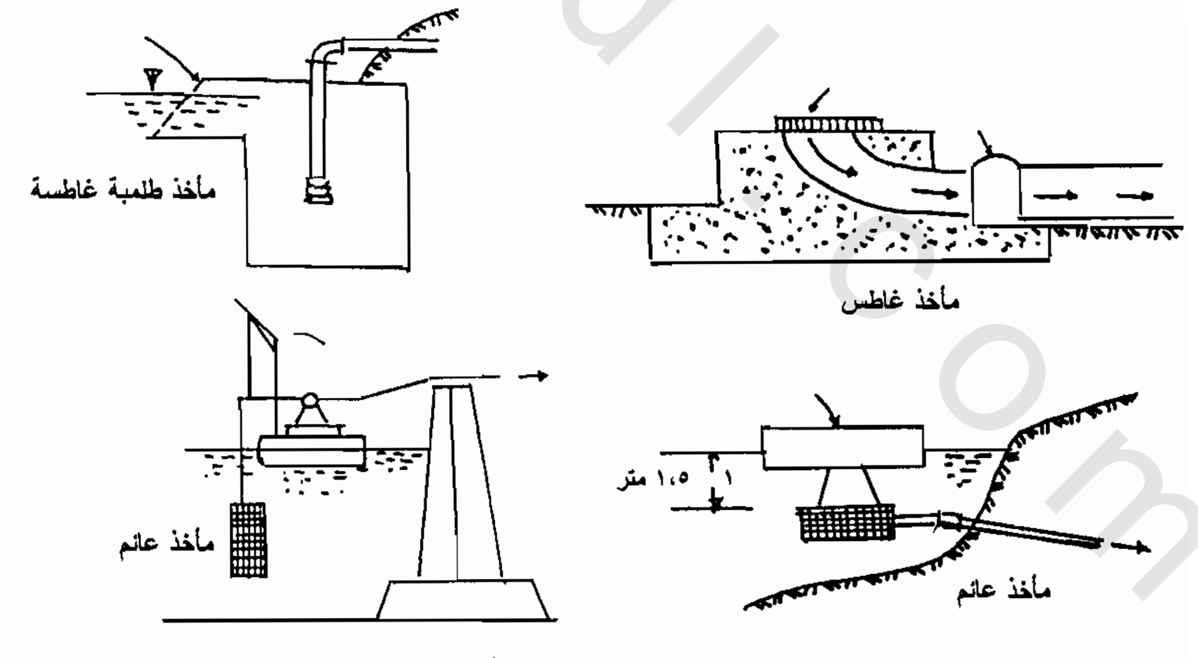
أما بقية أنواع الملوثات مثل الغازات المذابة، فإنه لايتم عادة التعامل معها لعدم وجودها فى كل الأحيان تقريباً، عدا فى حالة وجود ملوثات عضوية من مياه الصرف الصناعى التى قد تتحلل لاهوائيًا عند رسوبها فى قاع المجرى المائى منتجة غازات كريهة، ولذلك لتفادى هذه الحالة

يلزم أن تكون فتحة دخول المياه إلى مصافى المآخذ بعيدة عن قاع المجرى المائى، وتحت منسوب سطح المياه بمسافة من نصف إلى واحد متر؛ حيث تكون المياه غنية بأكسجين الهواء الجوى. أما الملوثات من المواد المذابة مثل بعض الملوثات من المواد غير العضوية أو العضوية الناتجة عن صرف المخلفات الصناعية فى المجارى المائية العذبة فإنه، يتم التخلص من نسبة كبيرة منها أثناء عملية المعالجة بالمروبات، إلا أنه يلزم حماية المجرى المائى من التلوث بمثل هذه المخلفات، وأن يكون موقع المأخذ فوق التيار لمصادر التلوث للمجرى المائى العذب.



١- المأخذ ٢- مضخة رفع ٣- حوض خلط سريع ٤- حوض خلط بطئ ٥- حوض ترسيب
٦- مرشح ٧- مضخة رفع ٨- خزان أرضى ٩- خزان علوى

شكل (١/١): مراحل التنقية لمياه الشرب من المصادر السطحية العذبة.



شكل (٢/١): بعض أنواع المآخذ.

٢- استخدام مواد الترويب فى تنقية المياه العكرة:

الترويب هو عملية إزالة المواد العالقة بالطرق الكيماوية، والتى يصعب إزالتها بالترسيب أو الطفو، وهذه المواد العالقة هى المسببة لعكارة المياه من المجارى السطحية العذبة.

المروبات الأكثر استخدامًا فى تنقية مياه الشرب هى كبريتات الألومونيوم، والتى تسمى الشبه. وهناك مروبات أخرى مثل كبريتات الحديدوز وكبريتات الحديديك وكلوريد الحديديك، ولكن لها استخدامات خاصة طبقاً لنوعية الملوثات المذابه فى الماء. وهذه المروبات حامضية بطبيعتها وهى تتفاعل مع القلوية الطبيعية أو المضافة إلى الماء، منتجة كبريتات الكالسيوم، المغنسيوم أو الصوديوم، وراسب جيلاتينى هو أيدروكسيد المروب.

$$AL_2\ (SO_4)_3 .14H_2O + 3Na_2\ CO_3 \rightarrow 2AL\ (OH)_2 + 3Na_2\ SO_4 + 3\ CO_2 + 14H_2O$$

$$AL\ (OH)_2 + H_2O \rightarrow AL\ (OH)_3 + H^+$$

$$AL\ (OH)_3 \rightarrow AL^{+++} + 3\ (OH)^{/}$$

وهذا الأيدروكسيد يحمل شحنة موجبة بينما الأجسام الغروية العالقة تحمل شحنة سالبة، وبذا يحدث جذب بين الأيدروكسيد ومواد العكارة العالقة مكونًا زغبات (Flocs) والتى تكون أكبر فى الحجم وفى الكثافة حيث يسهل ترسيبها فى أحواض الترسيب (المروقات) والتخلص منها.

ولكل نوع من المروبات مجال محدد للرقم الهيدروجينى (pH - Value). لذلك يلزم ضبط الرقم الهيدروجينى لتحقيق أكبر كفاءة للمروب فى إزالة المواد العالقة. فنجد مثلا أن الشبه (كبريتات الألومنيوم) تحقق أفضل ترويب عند رقم هيدروجينى ٥,٥ للمياه المحتوية على نسبة قليلة جدًا من المواد العالقة، بينما فى معظم المياه العكرة فإن الرقم الهيدروجينى المناسب يتراوح ما بين ٥,٥-٧,٥. أما المجال المناسب لاستخدام المروبات الأخرى فهو يختلف فبالنسبة لأملاح الحديد، فهو رقم هيدروجينى أعلا من ٨،٤. وعند إضافة المروب فإن الرقم الهيدروجينى

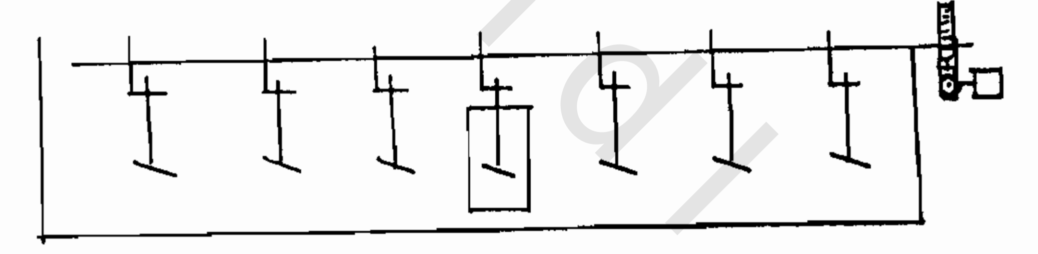
ينخفض (ذلك لأن جميع المروبات حامضية بطبيعتها) وخاصة فى حالة الجرعات العالية، عندئذ يلزم رفع الرقم الهيدروجينى إلى الحد المطلوب بإضافة قلوى مثل الصودا الكاوية أو الصودا آش (كربونات الصوديوم) أو لبن الجير. والمروبات تزيل ليس فقط العكارة من الماء ولكن كذلك بعض الأملاح غير العضوية ذات الأثر السلبى على صحة الإنسان. فالشبة تزيل أملاح الزرنيخ خماسى التكافؤ، الكروم سداسى التكافؤ، وأملاح الرصاص، والسيلينيوم وكذا أملاح الفضة بنسبة إزالة ٧٠-٩٠% طبقاً للرقم الهيدروجينى لحالة المياه، والتى هى عادة ما تكون مع إضافة جرعة المروب من الشبة فى المجال المتعادل، ولكن كفاءة الترسيب تزداد مع زيادة الرقم الهيدروجينى نحو القلوية ولكن الشبه لاترسب، وتزيل الزرنيخ ثلاثى التكافؤ، والباريوم، الكادميوم، الكروم سداسى التكافؤ، السيانيد، السيلينيوم الرباعى، النحاس ومواد عضوية أخرى.

وهذه المواد يمكن ترسيبها وإزالتها باستخدام المروبات من أملاح الحديد في مجال رقم هيدروجينى للمياه مرتفع ما بين ٩,٥-١٠، وتحقيق أفضل المروبات للاستخدام لنوع معين من المياه، الكيماويات المطلوبة والرقم الهيدروجيني المناسب، فإنه يلزم عمل الاختبار المعملي باستخدام اختبار القنينة، والتي تمكن من تعيين الجرعة المناسبة من المروب- (Jar - Test) شكل (١/٣) لا تعطي المياه قليلة العكارة كفاءة مناسبة باستخدام المروبات، وذلك في حالة العكارة أقل من ١٠٠ ملجرام لتر. ويحدث هذا في المجاري السطحية المناوبة أو في حالة السدة الشتوية، حيث يلزم إضافة جرعة من الطفلة حوالي ٣٥ ملجرام /لتر لزيادة العكارة وزيادة كفاءة المروب.

وقد تستخدم البلمرات ذات الوزن الجزيئى العالي (High Density Polymers) القابلة للذوبان في الماء، والتي تتحلل لتحقق الرقم الهيدروجيني المناسب للتذويب، وكذلك تقلل من الجرعة المطلوبة

للمروب. وجميع المروبات لا تعمل علي خفض العسر في المياه. ويعتبر اختبار القنينة هو الطريقة المناسبة لتحديد الجرعة المناسبة من المروب والبلمرات، والجرعة العادية من البلمرات هي واحد جزء في المليون. وجرعة المروب هي عادة ما بين ٥-٨,٥ ملجرام/لتر. ولإعداد مروب الشبة للاستخدام، فإنه يتم تجهيز محلول الشبة بتركيز ٤-٥%، ويضاف إلي المياه العكرة بنسبة ٥-٨٥ جزءًا في المليون، حسب درجة العكارة، مع عدم زيادة الجرعة عن هذا الحد حيث ما يزيد عن هذا الحد وجد مزابا في الماء.

وقد ثبت أن المواد العالقة المسببة للعكارة من الطمي تمتص نحو ٢٠-٣٠% من جرعة الشبة بما لا يمكن من تفاعلها مع القلوية الموجودة في الماء، بما يتطلب في بعض الحالات عمل الترسيب الأولي للتخلص من أكبر نسبة من الأجسام العالقة، قبل إضافة المروب إلي الماء. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني عن ٦,٨ بما يضر بصحة الإنسان، لا تزداد جرعة الشبة ولكن إما أن يزداد الزمن اللازم لترسيب الزغبات، أو تضاف الصودا آش لتعويض القلوية المفقودة في الماء.



شكل (١/٣): جهاز اختبار القنينة (Jar Test).

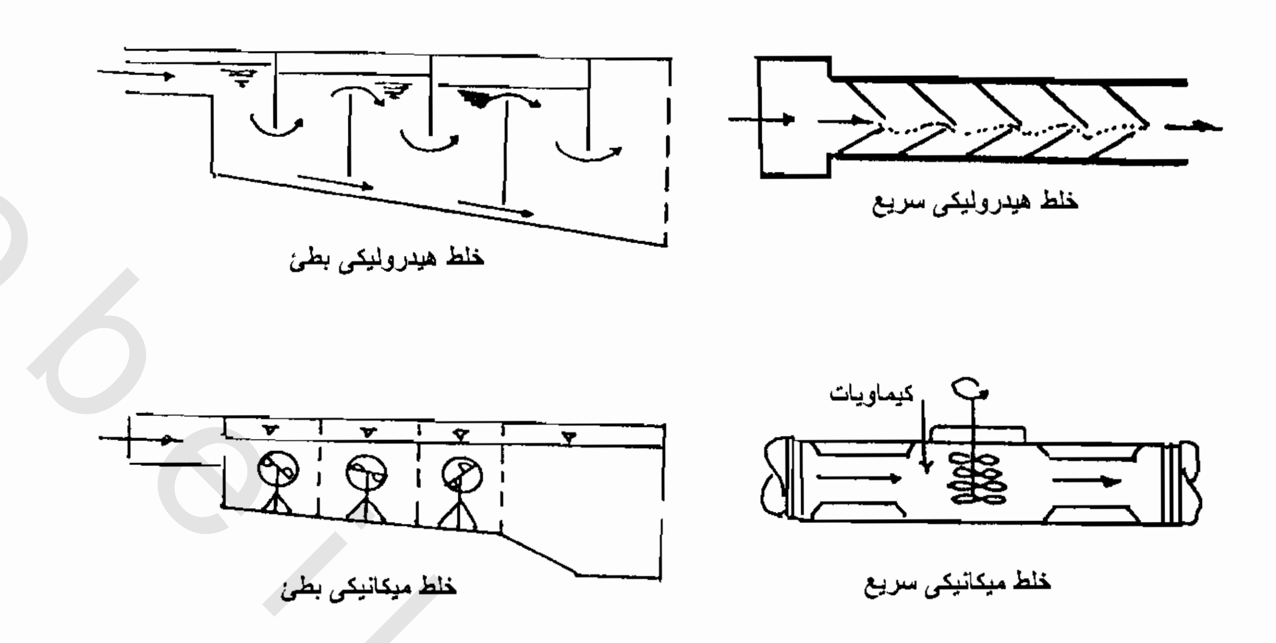
وتتوقف ضوابط استخدام الشبة كروب علي أساس أنه عند إضافتها للماء، فإن نواتج التحلل تكون أيون الهيدروجين (H^+) الذي يعمل علي خفض الرقم الهيدروجيني للماء. يتوقف الخفض في الرقم الهيدروجيني علي قلوية الماء فلكل ١ ملجرام/لتر من الشبة التي تتفاعل لتنتج راسبًا من أيدروكسيد الألومنيوم فإنه يستهلك ٠,٥ملجرام/لتر من القلوية المقيمه ككربونات كالسيوم. الزغبات (Flocs) من أيدروكسيد الألومنيوم

باستخدام مروب الشبة تختفي في حالة نقص الرقم الهيدروجيني، وكذلك في حالة زيادته؛ حيث يتأين أيدروكسيد الألومنيوم إلي الألومنيات التي تذوب في الماء، ولهذا فإن أفضل النتائج لتكوين الزغبات تكون في مجال رقم هيدروجيني ما بين ٦,٥-٨، والجرعة هي ما بين ٥-٨٥ ملجرام/لتر، والجرعة المتوسطة هي ١٩ملجرام/لتر، وللمياه شديدة العكارة لا تزاد الجرعة عن ٨٥ ملجرام/لتر، حيث ما زاد عن ذلك يذوب في الماء وكذلك لا تقل.

يجهز محلول الشبة بتركيز ٤-٥% ولا يقل التركيز عن ١,٥% قبل الحقن للمحلول في الماء. كما يلزم الإشارة إلي أن محلول الشبة بتركيز أقل من ١% يجعل الشبة تكون الزغبات مع مياه التخفيف قبل حقنها في كتلة المياه العكرة. ولهذا فإن تركيز محلول الشبة يجب ألا يقل عن ١,٥%.

الإضافة والخلط لكيماويات الترويب (الشبة): أشكال (١/٤)

تتم إضافة المروب في مسار تدفق المياه العكرة بالخلط السريع، وذلك لسرعة انتشار المروب في كل أجزاء تدفقات المياه، قبل التفاعل مع القلوية وتكوين الزغبات. ويتم الخلط السريع للمروب في أحواض للخلط السريع، تعمل بالطريقة الهيدروليكية أو الميكانيكية. بعد أحواض الخلط السريع تنتقل المياه إلي أحواض الخلط البطيء حيث مادة المروب المنتشرة في كل المياه العكرة، يكون لديها الفرصة لتتفاعل مع القلوية الموجودة في الماء مكونة الزغبات من أيدروكسيد المروب، وهذه الزغبات هي التي تلتصق بها الأجسام العالقة المسببة للعكارة، حيث يزداد حجم الزغبات وتزداد كثافتها، وتصبح قابلة للترسيب في أحواض الترسيب، والتي تلي أحواض الخلط البطيء.



شكل (١/٤): تجهيزات الخلط السريع والخلط البطئ.

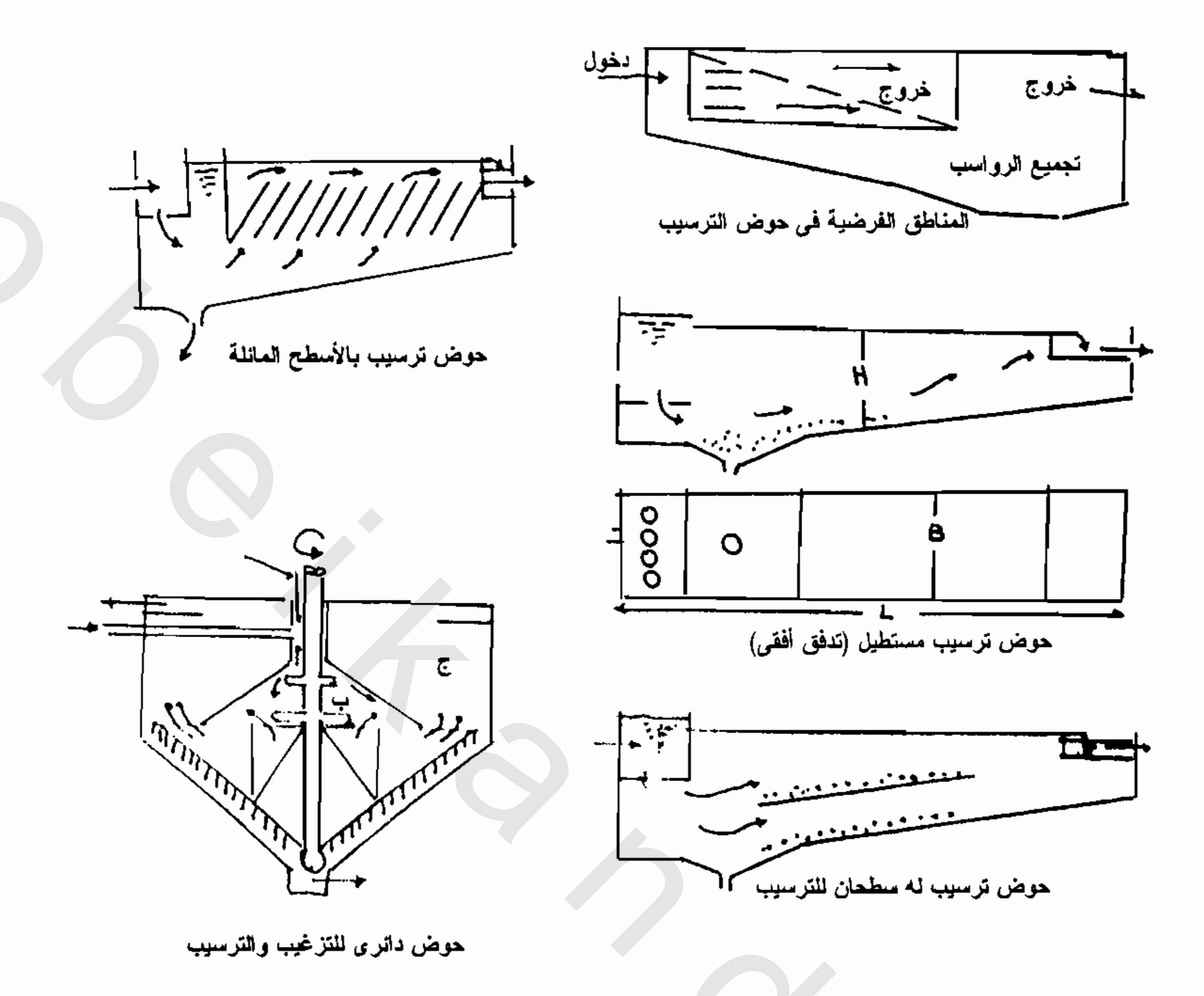
في جميع صور الخلط السريع، تكون سرعة تدفق المياه في وعاء الخلط ما بين ١٥-٢٠سم/ث، ولا تقل السرعة عن ١٠سم/ث، ولا تزيد عن ٧٥سم/ث حيث إن الزغبات في الحالة الأولي ترسب، وفي الحالة الثانية فإنها تذوب وتختفي.

السرعة المناسبة لرحلة المياه من حوض الخلط السريع إلي حوض الخلط البطيء هي ٧٠سم/ث، وقنوات التوزيع للمياه ما بين حوض الخلط السريع وحوض الخلط البطيء (التزغيب) عادة تتناقص تدريجيا في مساحة المقطع، وذلك للمحافظة علي ثبات سرعة المياه. في المحطات الكبيرة، فإن مسافة سرعة انتقال المياه من أحواض الخلط السريع إلي أحواض الخلط البطيء قد تزيد عن ٤٠مترًا. وتتدفق المياه بسرعة بطيئة خلال المواسير أو القنوات المجهزة بالهدارات المغمورة لتبطئ السرعة مع تجنب الاضطرابات في حركة المياه، وكذلك ثبات كل من المنسوب ومعدل التبطئ لسرعة المياه. الزغبات التي تتكون بعد٢ ثانية من إضافة المروب والخلط السريع تفتتت، إذا كان هناك

اختلاف في السرعة أو المنسوب في مسار المياه من الخلط السريع إلى الخلط البطيء- الزغبات المفتتة قد لا ترسب بسرعة ولا يعاد تجميعها مما يتطلب سرعة التغذية بالمروب، ولذلك فإن أقصي زغبات مناسبة للترسيب والترشيح هي تلك التي تتكون في ظروف الخفض المتدرج لسرعة المياه. وهناك فكر آخر الذي يوصي بتوفير طاقة متغيرة ومفاجئة في حوض الترغيب، والتي تتم في شكل نبضات (Variable Energy Or Pulsating Energy).وإن كان هذا يخالف نظرية الطاقة (السرعة) المتدرجة في التبطئ، ولكن لضمان نجاح فكرة النبضات المفاجئة، فإنه يلزم عمل التجارب النصف صناعية قبل التصميم لهذا النوع من أحواض الترغيب (الخلط البطئ).

٣- أحواض الترسيب: تعتبر عملية الترويق للمياه بترسيب الزغبات المتكونة بعد الترويب بالخلط البطئ من أهم العمليات في تنقية مياه الشرب، فقد استخدمت أحواض الترسيب ذات التدفق المستمر مع الإزالة المستمرة للرواسب بالطرق الميكانيكية، والتي سميت بالمروقات. الترويق الجيد للمياه المروبة، والذي يسبق الترشيح يمكن من الأداء الجيد للمرشحات وطول فترة عملها كما يقلل من مشكلات المرشحات مثل التشقق وتكوين الكرات الطينية. وقد يستخدم أحيانا الترسيب الأولي للمياه العكرة لتقليل الأحمال من الرواسب قبل الخلط بكيماويات الترويب؛ وذلك لإزالة نسبة كبيرة من المواد العالقة المسببة للون والمذاق والرائحة. أما الاستخدام الرئيسي لعملية الترسيب في تنقية مياه الشرب، فهو بعد عملية الترويب لإزالة الأجسام العالقة التي أصبحت أكثر قابلية للترسيب.

تتصف أحواض الترسيب بالسهولة في التشغيل والاستخدام القليل للطاقة وهي إما أن تكون مستطيلة أو مستديرة أو ذات القاع القمعي الاشكال (١/٥)



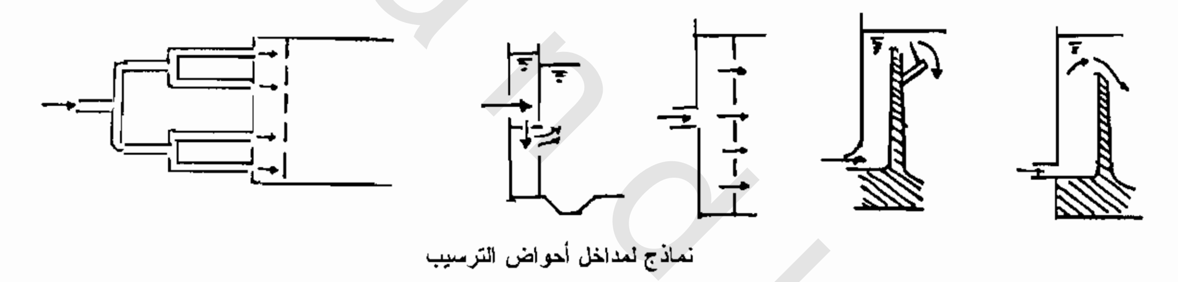
أشكال (١/٥): نماذج لأحواض الترسيب.

في حوض الترسيب يجب توفير تنظيم منفصل لدخول المياه لضمان التوزيع المتساوي علي كل العمق والطول لحوض الترسيب. وعادة فإن المياه تخرج من الحوض خلال هدارات، أما منطقة دخول المياه إلي الحوض فتكون حوائط حائلة (Baffles). الحائط الحائل هو الذي تمر المياه من أسفله، وتكون فتحة دخول المياه إما مستمرة ما أمكن أسفل الحائط، أو علي شكل عقود بقاع الحوض. أما الهدار فهو حائط أقل قليلا في الارتفاع من منسوب المياه التي تمر فيه. يصمم الهدار لتحقيق

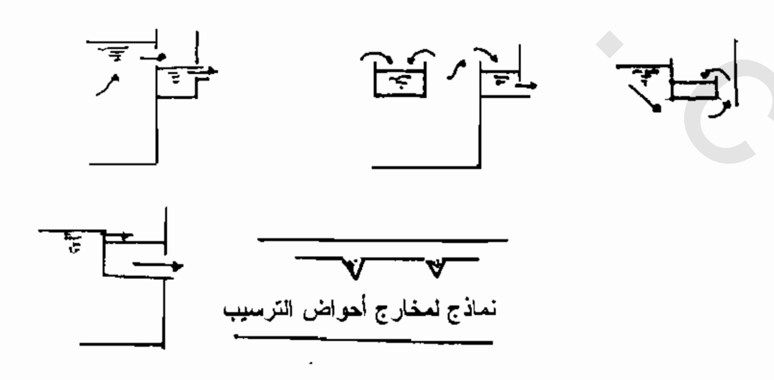
معدل تصرف ثابت، ويمكن زيادة طول الهدار بالجوانب أو تركيب مجرى معلق.

يختلف قاع حوض الترسيب في الشكل؛ إذ يكون بانحدار ما بين ١٠/١ إلي ٢٠/١ في جميع الطول. يفضل أن يكون مخرج الرواسب عند الجهة التي تدخل منها المياه، وليس عند جهة مخرج المياه؛ لتجنب تحريك الرواسب في منتصف الحوض، إذا كان انحدار القاع في الجبهتين بما يوفر في حجم الحوض. ولتجنب ذلك، فإن المياه المروبة تدخل حوض الترسيب من مدخل منفصل حيث تقسم المياه بالتساوي علي كل طول وعمق الحوض، وبالمثل في نهاية الحوض يصمم المخرج لتجميع المياه الرائقة بانتظام، وتزال الرواسب المتجمعة في قاع الحوض.

الأشكال (١/٦) توضح نظام التدفق في بعض أحواض الترسيب.



نماذج لمداخل أحواض الترسيب



أشكال (١/٦): نماذج لمداخل ومخارج لأحواض الترسيب.

الاعتبارات التصميمية لأحواض الترسيب:

- معدل التحميل السطحي للترسيب الأولي ما بين ١٠-٤٠، م^{٣}/م^{٢} في اليوم والمياه المعالجة بالمروبات ما بين ٢٠-٤٠م^{٣}/م^{٢}/اليوم.
- زمن المكوث في حوض الترسيب من ٢-٤ سعة، ويؤكد بالتجارب النصف صناعية أو بالحالات المماثلة الناجحة.
- السرعة الأفقية للمياه ١٥سم/ق (١٠ أمتار في الساعة).
- الأحواض المستطيلة لا يزيد طولها عن ٣٠مترًا وتكون نسبة الطول إلي العمق ٣:٨.
- يفضل ألا يزيد الأحواض المستديرة القطر عن ٤٠مترًا.
- معدل خروج المياه علي هدار المخرج لا يزيد عن ٤٥٠م^{٣}/م^{٢} في اليوم.
- عند استخدام هدارات علي شكل حرف V يكون عمقها ٥سم، والفاصل بينها ٨-١٥سم.
- يراعي ألا يقل عدد أحواض الترسيب عن حوضين؛ للمحافظة علي استمرار الإنتاج في حالات التوقف للصيانة والإصلاح.
- كما يؤثر في تحديد أسس التصميم، نوعية المرشحات وكفاءتها التي تلي أحواض الترسيب.

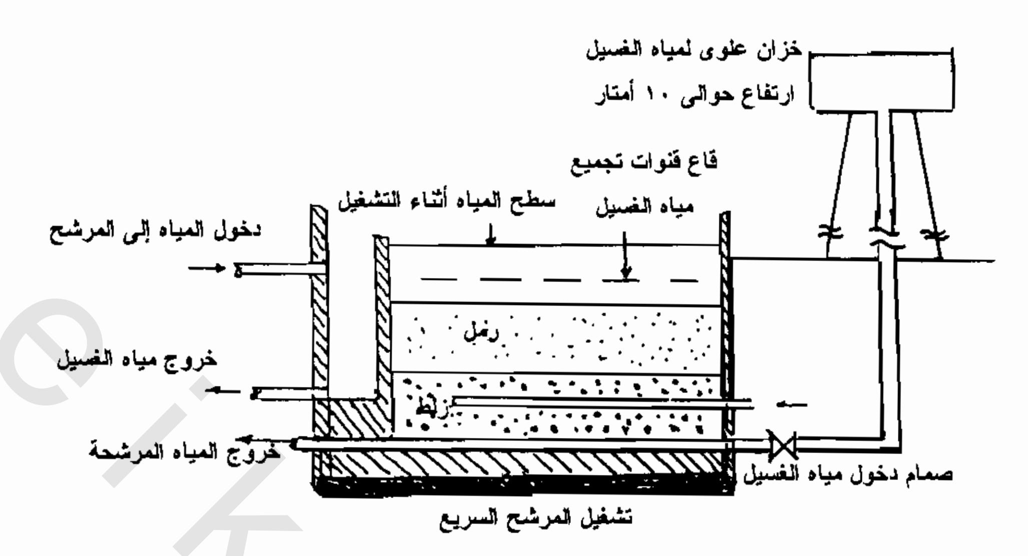
ولزيادة كفاءة أحواض الترسيب، فقد استخدمت أحواض الترسيب ذات الأسطح المائلة حيث يتم توفير قاع إضافي لحوض الترسيب أو أكثر من قاع باستخدام الألواح المائلة أو الأنابيب المائلة- شكل (١/٥).

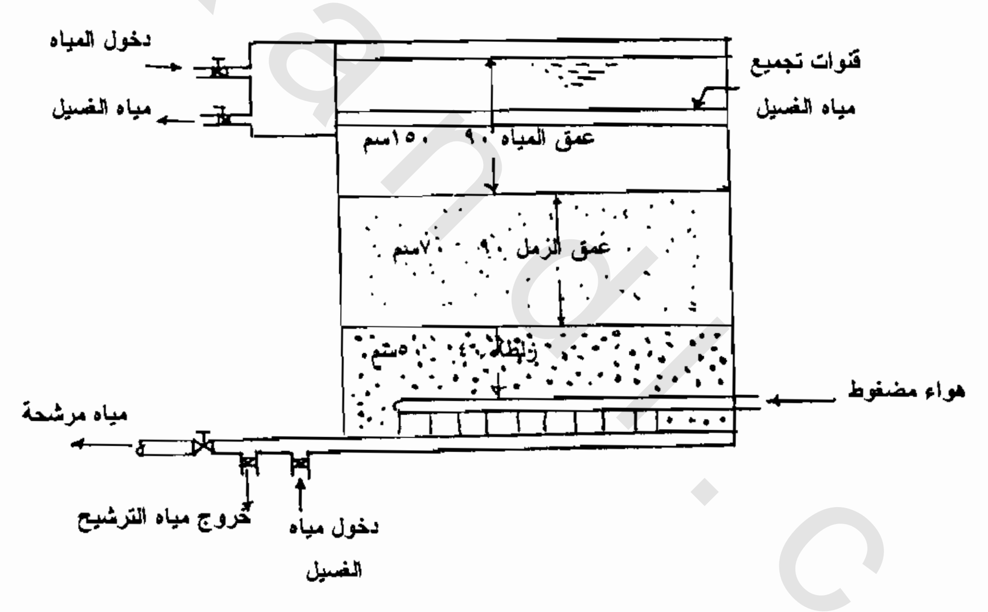
وفي بعض المروقات الأسطوانية استخدم الترويق بالأجسام الصلبة العالقة (الحمأة).

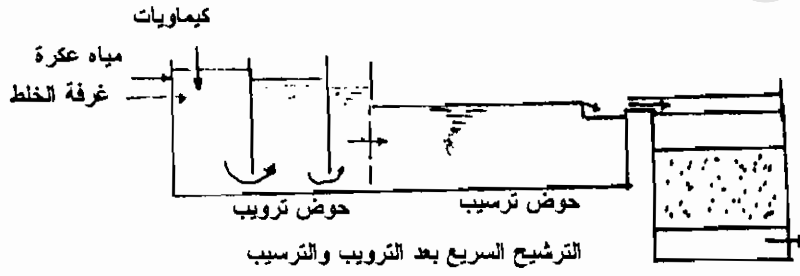
كما أنه يمكن دمج مراحل الخلط السريع والخلط البطيء والترسيب في مروق واحد.

وفي بعض التصميمات تتم عمليات الخلط السريع والخلط البطيء والترسيب والترشيح في وحدة واحدة.

٤- الترشـــيح: في عملية الترشيح، تمر المياه خلال وسط ترشيحي لإزالة الجســـيمات العالقة التي لـــم يتـــم إزالتها بالترسيب. توجـــد أساليب مختلف للترشـــيح







أشكال (١/٧): أحواض المرشحات السريعة.

ومنها بناء طبقة من الجسيمات الصغيرة العالقة (Particulate) علي سطح الوسط الترشيحي، والتي تعمل كذلك كوسط ترشيحي، وهذه هي المرشحات الرملية البطيئة. والنوع الثاني هو الذي يمكن هذه الجسيمات العالقة من التسرب في الوسط الترشيحي، حيث تحتجز الجسيمات العالقة وهذه هي المرشحات الرملية السريعة. تستخدم المرشحات البطيئة في التصرفات الصغيرة، وهي تزيل الملوثات من البكتريا والفيروسات والفطريات والطحالب، والتي تحتجز علي السطح العلوي للوسط الترشحيي حيث يتم إزالتها واستبدالها بطبقة رمال نظيفة؛ للمحافظة علي تدفقات المياه في المرشح.

أما المرشحات الرملية السريعة فهي إما أن تعمل بالجاذبية أو بالضغط، والوسط الترشيحي المستخدم هو الرمال عادة. والتخلص من الجسيمات المحتجزة يتم بعملية الغسيل العكسي. المرشحات الرملية البطنية توفر مياه رائقة وآمنة بكتريولوجيا، ولكن المرشحات الرملية السريعة، وإن كانت توفر مياه رائقة إلا أنها لا توفر الأمان البكتريولوجي. معدل الترشيح في المرشحات الرملية البطيئة منخفض حوالي ٢-٧ أمتار مكعب/ المتر المربع في اليوم.

الاعتبارات التصميمية:

لتصميم المرشح يلزم تحديد أربع عناصر، وهي حجم حبيبات الوسط الترشيحي، سمك طبقة الوسط الترشيحي، عمق المياه فوق الوسط الترشيحي، معدل الترشيحي.

مواد الوسط الترشيحي:

عادة ما تكون مواد الوسط الترشيحي من الرمل بسمك من ١-١,٥متر، تعلو طبقات من الزلط المدرج، حيث الحبيبات الكبيرة في القاع تعلو فتحات التصريف والحبيبات الصغيرة إلي أعلي، تعلوها طبقة رمال

الوسط الترشيحي، ويكون سمك الطبقة الزلطية من ٤٠-٥٠سم. ويكون عمق المياه فوق الوسط الترشيحي من ١-١,٥مترًا.

ولكن قطر الحبيبات يكون طبقا لعاملين، هما: الحجم المؤثر ومعامل المتجانس.

الحجم المؤثر (الفعال): Effective Size

الحجم المؤثر هو فتحة المنخل بالمليمتر، التي تسمح بمرور ١٠% من وزن عينة الرمل الممثلة للوسط الترشيحي، أو بمعني آخر إنها فتحة المنخل التي تحجز ٩٠% من وزن عينة الرمل بصرف النظر عن التدرج الحبيبي للرمل، فإن كان ١٠% من وزن عينة الرمل ذات قطر أقل من ٠,٤٥ مليمتر، فإن مادة الوسط الترشيحي يكون لها قطر مؤثر ٠,٤٥ مليمتر.

معامل التجانس (Uniformity Coefficient).

معامل التجانس يعبر عن درجة التغير في قطر الرمل، وهو عبارة عن النسبة بين فتحة المنخل التي تمر من خلالها ٦٠% من وزن الرمل والقطر الفعال (المؤثر). فعلي سبيل المثال إذا كانت فتحة المنخل التي يمر من خلالها ٦٠% من وزن الرمل هي ٠,٧ مليمتر، وكان القطر الفعال هو ٠,٣٥ مليمتر، فإن معامل التجانس يكون ٠,٧÷٠,٣٥=٢.

وبعد هذا التعريف، يمكن تعيين الحجم المؤثر ومعامل التجانس للرمال المستخدمة في المرشحات البطيئة والسريعة كالآتي:

نوع المرشح الرملي	القطر الفعال	معامل التجانس
- رمال المرشح البطئ	٠,٣-٠,٣٥ مليمتر	١,٧٥-٢
- رمال المرشح السريع	٠,٣٥-٠,٥مليمتر	لا يزيد عن ١,٦٥
- حبيبات الفحم المنشط في حالة استخدامها في المرشح السريع لإزالة اللون والرائحة.	٠,٦٥-١,٠مليمتر	1.٨٥

٥- التطهير: Disinfection: عملية تطهير المياه تصمم لقتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمـــراض الوبائية، وإذ كانت عمليات المعالجة السابقة مثل الـــترويب والترسـيب والترشيح تقلل منها. مادة التطهير المستخدمة عادة في المحطات الكبيرة هي الكلور المسال، وقد تستخدم مركبات الكلور الأخرى مثل حبيبـــات هيبوكلوريت الكالسيوم أو محلول هيـــبركلوريك الصوديـــوم. والكلـــور بالإضافة إلي أنه مطهر وقاتل للكائنات الحية الدقيقـــة مثـــل البكتريـــا بأنواعها ويقلل من نشاط الفيروسات وحويصلات الإنتاميبا (Cysts) إلـــي حد كبير، إلا أنه كذلك عامل مؤكسد حيث يؤكســـد المـــواد العضويـــة المذابة والعالقة والكائنات النباتية مثل الطحالب. لذلك.. فـــإن اســـتخدام الجرعة المناسبة من الكلور قبل دخول المياه إلي المرشحات؛ لتحســـين كفاءة عمل المرشحات. كما قد يضاف بعد المرشحات وقبل دخول المياه إلي خزانات المياه الأرضية أو العلوية، وقـــد يضـــاف قبـــل أحـــواض الترسيب لتحسين كفاءة الترسيب للمواد العالقة. وفي جميـــع الحـــالات يجب المحافظة علي كلور متبقي في الشبكة، وعند آخر مستهلك ليكـــون أكثر من ٠,٢ ملجرام/لتر. والكلور هو المطهر الوحيـــد الـــذي يحقـــق الاستمرار في تطهير المياه أثناء تدفقها في شبكة التوزيع.

الأوزون:

الأوزون مؤكسد أقوي من الكلور ومطهر جيد ولكنه مكلف، ويتطلـــب الإنتاج في موقع الاستخدام، كما أنه لا يحقق متبقٍ في شبكة التوزيع فـــي حالة استخدامه لتطهير المياه، قبل الضخ في الخزانات؛ لذا فإن الأمـــر يتطلب كذلك الحقن بالكلور قبل الضخ في الشبكة للمحافظة علي ضمـــان تطهير المياه من الملوثات في شبكة التوزيع. الأوزون قادر علـــي قتـــل جميع الكائنات الحية الدقيقة بما فيها الفيروسات وحويصلات الجارديا.

الأشعة فوق البنفسجية:

الأشعة فوق البنفسجية مطهر جيد، ولكنه غير مؤكسد، ويتطلب مياهًا خالية تماما من أي جسيمات عالقة، ولا يحقق أي تأثير في شبكة التوزيع بما يتطلب حقن الكلور قبل ضخ المياه في الشبكة.

برمنجنات البوتاسيوم، اليود:

مؤكسد ومطهر ومكلف وله ضوابط فى الاستعمال حيث الزيادة تحدث تغيرًا في لون المياه، والنقص يعرض المياه للملوثات. يمكن استخدامه في العبوات الصغيرة.

غلي الماء:

يستخدم غلي الماء في حالة ظهور حالات وبائية من استعمال مياه الشرب، والتي تكون نتيجة ملوثات في شبكة التوزيع؛ نتيجة تسرب مياه الصرف أو بعد عمليات الإصلاح والصيانة دون التطهير للشبكة. غلي الماء يعتبر الضمان الأكيد لتطهير المياه؛ حيث إنه يقتل جميع الكائنات المسببة للأمراض، ويعمل علي التخلص من المواد العضوية المذابة والغازات المسببة للون والرائحة، وإن كان يعمل علي طرد الأكسجين للماء.. ولذلك فإنه بعد غلي الماء، يتم تبريده وصبه في زجاجات ليمتص أكسجين الهواء الجوي، الذي يعطيه المذاق المستساغ.

ولهذا فإن الكلور يعتبر المطهر الوحيد المناسب من الناحية الاقتصادية والفاعلية كمطهر؛ نظرا لخاصية استمرار تأثيره في تطهير الشبكة حتى وصول المياه إلي صنبور آخر مستهلك. وكذلك بزيادة زمن الالتصاق مع الكلور والماء يمكن قتل وحجز الكائنات الجرثومية؛ بعمل الجرعة المسبقة قبل المرشحات والجرعة النهائية بعد المرشحات، مع أهمية توفير حوض تلامس (خزان أرضي أو خزان علوي) لمدة ٢٠-٣٠

دقيقة، قبل الضخ في الشبكة ووصول المياه إلي أول مستهلك. وعمومًا.. فإن الكلور هو مازال المطهر المستخدم في معظم دول العـــالم لتطـــهير المياه وشبكة المواسير. وكذلك مركبات الكلور في تطـــهير الخزانـــات الأرضية والعلوية للمياه.

الفصل الثانى

خصائص إنتاج ومعالجة مياه الشرب من الآبار الجوفية

مقدمة

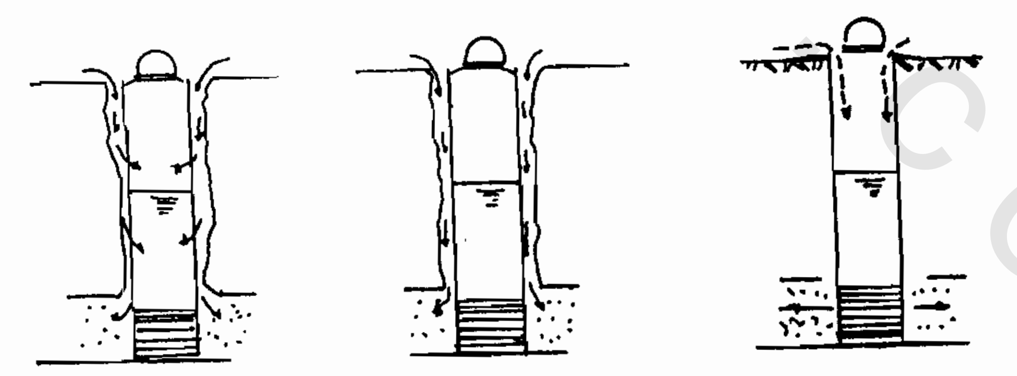
في مصر ستة خزانات جوية، تشغل أكثر من ٥٠% من مساحة مصر وطاقتها التخزينية كبيرة ومعظمها خزانات جوفية متجددة. وهي تشمل خزان جوفي الدلتا الوادي، وخزان جوفي الحجر الرملي النوبي الذي يشكل حوالي ٣٠% من مساحة مصر، ويقع في الجنوب الغربي للصحراء الغربية، ويمتد أسفل خزان جوفي الدلتا والوادي، ولكنه منفصل عنه تماما، وقد تم استغلال هذا الخزان الجوفي أخيرًا في منطقة شرق العوينات. والثالث هو خزان جوفي المغره الذي يقع في الأطواف الغربية للدلتا وجنوب منخفض القطارة، والرابع هو الخزان الجوفي الساحلي الممتد علي سواحل البحرين الأبيض والأحمر. وخزان جوفي الحجر الجيري، ويقع في الجزء الشمالي للصحراء الغربية ثم أخيرًا خزان جوفي الصحراء الشرقية وسيناء.

المستغل من مياه هذه الخزانات الجوفية لايزيد عن ٤,٥ مليار متر مكعب سنويًّا ومخطط زيادته إلي ٧مليار معظمها لأغراض الري. كما أن إنتاج مياه الشرب من الآبار يمثل ٧% من الناتج الفعلي لمياه الشرب علي المستوي القومي.

تتصف المياه الجوفية بالنقاء وعدم وجود مواد عالقة، كما أنها علي الأعماق المتوسطة (أكثر من ٦٠مترًا تحت سطح الأرض)، والعميقة تكون خالية من الملوثات البيولوجية؛ نظرًا لتحللها إلي مركبات بسيطة أثناء تحركها إلي الخزان الجوفي، وذلك عند الضخ من آبار مصممة ومنفذة بكفاءة. إلا أنه حاليًا تواجه آبار المياه الجوفية أربع مشاكلات رئيسية، تؤثر علي صلاحية المياه لأغراض الشرب واستمرار إنتاج الآبار. وهذه المشاكلات تشمل التلوث البيولوجي بما يجعل المياه غير صالحة، التلوث بأملاح الحديد والمنجنيز، زيادة الأملاح الكلية المذابة، والتمليح والانسداد لمصافي الآبار وانخفاض إنتاجيتها أو توقفها تمامًا عن الإنتاج.

١- التلوث البيولوجي والكيماوى لمياه الآبار (شكل ٢/١)

يرجع التلوث البيولوجي كنتيجة لتسرب الملوثات من المواد العضوية والجرثومية الحاملة للأمراض (Pathogens) إلي جوف الأرض، وذلك نتيجة للصرف العشوائي لمياه الصرف الصحي، ومياه صرف الأنشطة الخدمية والإنتاجية سواء علي سطح الأرض أو في المصارف، وكذلك تسرب مياه الصرف الصحي من شبكات الصرف.



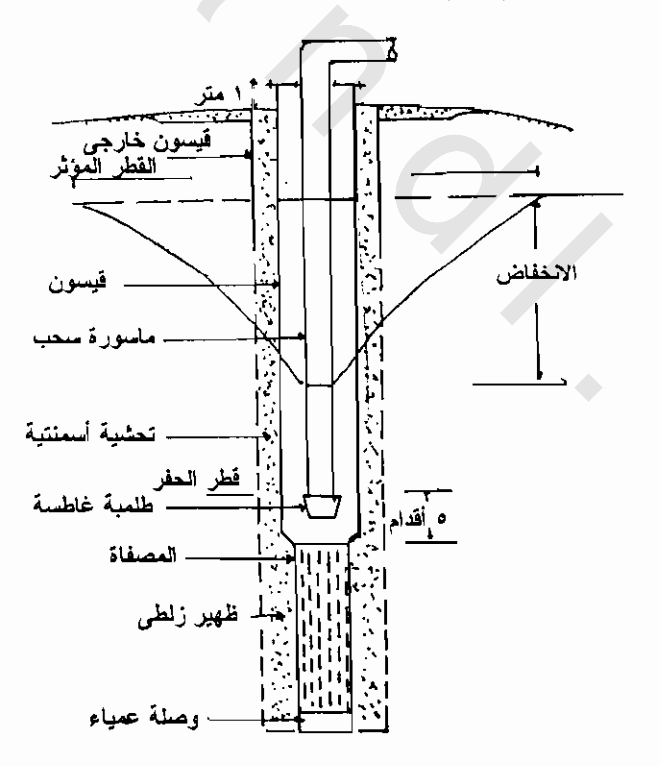
أشكال (٢/١): حالات التلوث لمياه الآبار.

وإن كانت الملوثات المسببة للأمراض الوبائية تتحلل إلي مركبات كيماوية بسيطة أثناء حركتها إلي جوف الأرض لعدم وجود أكسجين الهواء الجوي؛ حيث ثبت عدم وجود هذه الملوثات الجرثومية علي أعماق تزيد عن ٤٠مترًا من سطح الأرض، وكذلك تتحلل المواد العضوية إلي مركبات ثابتة وبسيطة مثل ثاني أكسيد الكربون، والماء، النشادر، كبريتيد الهيدروجين، وأملاح النيتريت.

وقد تتسرب إلي جوف الأرض مركبات عضوية مذابة ومتطايرة (VOC's - Volatile- Organic Chemicals) وهي مواد منيعة ولاتتحلل.. أما الأملاح المذابة لبعض العناصر الضارة (المعادن الثقيلة) فهي تتسرب إلي جوف الأرض، وفي بعض الحالات قد يحدث تبادل أيوني بين هذه العناصر الضارة وعناصر مكونات التربة من الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم؛ بما يقلل من تركيزها في المياه الجوفية، ولكن لا يبعدها تماما. ولتفادي هذه الملوثات.. فإنه يلزم أن يراعي عند تنفيذ آبار المياه لأغراض الشرب أن تكون بعيدة عن التجمعات السكنية وشبكات الصرف الصحي والمقابر ومناطق إلقاء المخلفات بمساحة لا تقل عن ١٥٠مترًا، وكذلك أن يكون موقع البئر في مكان مرتفع عن سطح الأرض، وأن يكون فوق التيار لحركة المياه في الخزان الجوفي، وحيث البعد عن موقع مصادر التلوث التي تكون تحت التيار.

وعادة، فإن حركة المياه الجوفية في خزان جوفي الوادي هي من الجنوب إلي الشمال، وبالنسبة لخزان جوفي الدلتا فهي من الجنوب الشرقي إلي الشمال الغربي. كما يلزم عمل بئر اختباري لتحليل المياه الجوفيه كيماويا وبيولوجيا وتحديد العمق المناسب لتركيب المصفاة بعد التأكد من صلاحية المياه المختبرة للشرب، وكذلك التربة الحاملة من الزلط والرمال الخشنة والمتجانسة وخلوها من الرمال الناعمة، قبل البدء في تصميم البئر. وعند التنفيذ يراعي عمل طبقة من الخرسانة العادية بسمك ١٠سم حول فوهة البئر بقطر ١٥مترًا لمنع وصول مياه الرشح السطحى إلى جوف الأرض حول البئر. وأن تعلو فوهة البئر سطح الطبقة الخرسانية بما لا يقل عن ١متر، هذا مع إحكام إغلاق فتحة البئر أثناء التشغيل والتوقف.

ويرجع وصول الملوثات إلي مياه الآبار التي أنشئت في الماضي، والتي لم يراع في تصميمها وتنفيذها ما استجد من زيـــادة الكثافــة السـكانية والصرف العشوائي للمياه الحاملة للملوثات. وحيث نفذت الآبار بـــدون وضع طبقة التحشية الأســمنتية (Grouting) مــا بيــن قطــر الحفــر والقيسون. وهذه التحشية الأسمنتية تحقق هدفين، أولهما: منع وصـــول مياه الرشح السطحي الحاملة للملوثات إلي المصفاة عن طريق الفــاصل ما بين قطر الحفر والقيسون، والهدف الثاني هو حماية السطح الخارجي للقيسون، والتى تعمل بدورها علي تسرب مياه الرشح السطحي الملوثـة إلى داخل القيسون في حالة تآكله، والتي تحقق طبقة التحشية الأســمنتية حمايته من التآكل- كما يفضل صناعة القيسون والمصفاة من مادة خاملة مثل البي في سي، أو البولي إيستر المسلح بالصوف الزجاجي بالســمك المناسب لمقاومة ضغط التربة أو من الصلب المقــاوم للصــدأ أو مــن الصلب الكربوني المغطي بطبقة حماية والوصلات المتصلــة بــالجلب شكل (٢/٢).



أشكال (٢/٢): مكونات بئر الضخ.

٢- تمليح الآبار أو الترسيبات التى تقلل من إنتاجية البئر أو تسبب توقفه تماما

ظاهرة تمليح الآبار والتي ينتج عنها نقص في الإنتاج التصميمي للبئر أو توقف الإنتاج تمامًا، هي ظاهرة طبيعية وتحدث عادة بعد إنشاء البئر بفترة زمنية، تتراوح ما بين عامين إلي ثمانية أعوام طبقًا لنوعية التربة الحاملة للمياه ونوعية المياه الجوفية.

ويرجع ذلك إلي الانسداد في مسام التربة المحيطة بالمصفاة بما يقلل أو يمنع تدفق المياه الجوفية نحو مصفاة البئر، وكذلك انسداد مسام المصفاة. وتحدث هذه الترسيبات نتيجة إذابة أملاح التربة الحاملة للمياه الجوفية مثل كربونات الكالسيوم والماغنسيوم والحديد بفعل ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء، والناتج عن التحلل اللاهوائي للمواد العضوية، حيث تتحول أملاح الكربونات غير المذابة إلي البيكربونات المذابة.

وأثناء ضخ المياه من البئر حيث تتدفق المياه الجوفية نحو مصفاة البئر، عندئذ تحدث خلخلة في المنطقة المحيطة بالمصفاة وخاصة في حالة زيادة سرعة تدفق المياه نحو المصفاة عن ٣سم في الثانية. ونتيجة لهذه الخلخلة، فإن ثاني أكسيد الكربون يتم انتزاعه من أملاح البيكربونات المذابة إلي الكربونات غير المذابة، والتي ترسب في مسام التربة المحيطة بالمصفاة وكذلك في فراغات الظهير الزلطي حول المصفاة وفي فتحات المصفاة. هذه الترسيبات تحدث علي مراحل بما يسبب الخفض التدريجي في إنتاج البئر، ثم توقفه تمامًا عن الإنتاج. ويضاف إلي ما سبق سبب آخر لانسداد فتحات المصفاة، وهو المعادن غير المتماثلة في الجهد، حيث تغطي فتحات المصفاة المصنوعة من الصلب الكربوني بشبكة من النحاس الأصفر، ونظرًا لاختلاف الجهد يحدث ترسيب لمعدن الحديد وتآكله وتراكم نواتج التآكل علي فتحات المصفاة، والتي عندئذ يحدث لها انسداد.

كما أن هناك عاملاً آخر لقفل مسام المصفاة، وهو أنه في حالة عدم تطهير البئر باستخدام مسحوق الكلور (هيبو كلوريت الكالسيوم) بعد

عمليات الاصلاح والصيانة وإحكام غلق فوهة البئر، حيث في مثل هذه الحالات تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد، ويحدث تآكل لمعدن الحديد المصنوع منه المصفاة، وترسب نواتج التآكل في الفتحات حيث يحدث الانسداد.

ولإزالة هذه الترسيبات واستعادة الطاقة الإنتاجية للبئر.. فإنه يلزم عمل عدة إجراءات، نوجزها فيما يلي:

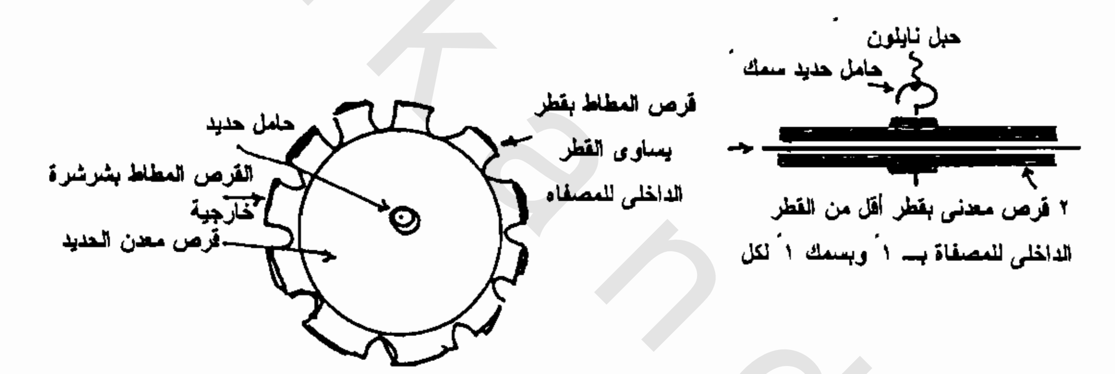
- التأكد من أن النقص في إنتاج البئر أو توقفه عن الإنتاج ليس بسبب السحب الجائر وجفاف البئر، حيث يتم معرفة ذلك بملاحظة منسوب المياه في قيسون البئر وقياسه (وهو منسوب المياه الاستاتيكي) والتأكد من ثباته، عندئذ يكون السبب في نقص إنتاج البئر هو انسداد المسام أو التمليح للتربة المحيطة بالمصفاة، وكذلك انسداد مسام المصفاة والذي يحدث للأسباب التي أوردناها سابقا.

وقد جرت العادة في مواجهة هذه الظاهرة التعامل معها بأحد أسلوبين، وهما: إما هجر البئر وإيقاف استخدامه، أو سحب القيسون والمصفاة وإزالة الترسيبات من مسام المصفاة وإعادة التركيب في مكان البئر أو في مكان مجاور، ورغم أن هذا الأسلوب مكلف فإنه لا يحقق الهدف من استعادة كفاءة الإنتاجية للبئر. فعند إعادة تركيب القيسون والمصفاة في مكان البئر، تظل التربة المحيطة بالمصفاة مقفولة المسام، وفي حالة التركيب في مكان آخر مجاور.. فقد يكون هذا الموقع تحت التيار لحركة المياه الجوفية بالنسبة للموقع القديم، عندئذ فإن الترسيبات في مسام التربة تعيق حركة المياه الجوفية. وقد تتخذ خطوات لتفادي هذا المنسوب لسحب المياه، كما في حالة زيادة أو نقص مواسير القيسون، ولكن سلبياته أنه يلزم اختبار نوعية المياه والتربة مسبقا كما في حالة عمل البئر الاختباري قبل الإنشاء.

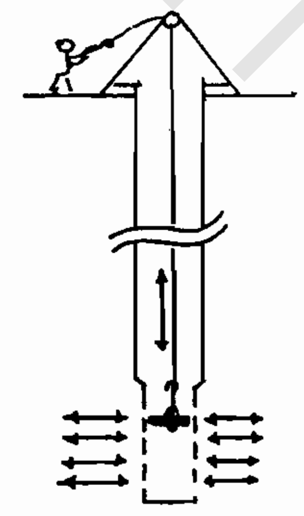
والأسلوب السليم الذي يجب اتباعه لاستعادة كفاءة إنتاجية البئر في مثل هذه الحالة، هو العمل علي إزالة الترسيبات في منطقة المصفاة، وفي مسام التربة المحيطة بالمصفاة حيث يتم ذلك بالخطوات التالية:

- **عمل الاضطراب بالقرص المعدني:**

يتم رفع غطاء فوهة البئر وسحب ماسورة سحب المياه والطلمبة خارج القيسون، وقياس منسوب المياه الاستاتيكي. ثم عمل الاضطراب الميكانيكي (Mechanical Surge) باستخدام قرص معدني، قطره أقل من قطر المصفاة بحوالي ١-٢بوصة كما في الشكل (٢/٣)، (٢/٤)، ثم إنزال القرص المعلق بحبل من النيلون إلي منطقة منتصف المصفاة.



شكل (٢/٣): مقطع فى قرص الاضطراب الميكانيكى.



شكل (٢/٤): استخدام قرص الاضطراب الميكانيكى.

يتم عمل الاضطراب بالرفع والإنزال للقرص في الماء بمسافة تعادل نصف طول المصفاة. ويجب الحذر في الرفع والإنزال للقرص المعدني في المراحل الأولي؛ لمراعاة حالات عدم استقامة قيسون البئر والمصفاة أحيانا.

يستمر الرفع والإنزال للقرص عدة مرات، وتوضع كمية من المياه عند فوهة البئر تعادل تقريبا حجم المياه في قيسون البئر والمصفاة. في حالة نجاح الاضطراب بالقرص المعدني، فإن المياه التي تم إدخالها تتدفع بسرعة إلي أسفل خلال القيسون والمصفاة، ثم إلي خارج المصفاة داخل التربة المحيطة بالمصفاة، ثم يستعيد البئر منسوب المياه الجوفية الاستاتيكي الذي تم قياسه.

أما في حالة عدم تصريف المياه المضافة في قيسون البئر، يتم اللجوء إلي إزالة الترسيبات بالمواد الكيماوية:

مراحل إزالة الترسيبات في المصفاة والتربة المحيطة بها باستخدام بالاضطرابات (Surge):

التقنية الحديثة تتمثل في إزالة الترسيبات مع عدم رفع أجزاء من مكونات البئر أو نقله من مكانه، وتتم خطوات العمل علي مراحل طبقًا لحالة الترسيبات وإنتاج البئر كالآتي:

- في حالة ضعف إنتاجية البئر لوجود ترسيبات غير جيدة التماسك والالتصاق. في هذه الحالة يتم تشغيل طلمبة البئر لمدة دقيقتين بما يمكن من امتلاء ماسورة السحب للبئر (أو القيسون في حالة المضخة فوق سطح الأرض) ثم التوقف لمدة ٥-١٠ دقائق. عندئذ ترتد المياه إلي منطقة المصفاة وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة سحب المياه نحو البئر، وهذا يسبب حدوث خلخلة للترسيبات ضعيفة الالتصاق. بتكرار هذه العملية عدة مرات، يمكن تقييم نتائجها بتشغيل البئر وملاحظة كفاءة الإنتاج.

وتسمي هذه العملية بالاضطراب الهيدروليكي (Hydraulic surge) والتي تحقق نتائج طيبة في حالة المراحل الأولي لحدوث الترسيبات. أما في حالة عدم استعادة كفاءة الضخ من البئر، فإن ذلك يكون دلالة علي وجود ترسيبات شديدة الالتصاق في مسام التربة وفي فتحات المصفاة، والتي يتم التعامل معها بالاضطراب الميكانيكي (mechanical surge) باستخدام القرص المعدني الذي سبق توضيحه. أما في حالة عدم استعادة كفاءة البئر فإنه يتم اللجوء إلي إزالة الترسيبات باستخدام المواد الكيماوية.

- **إزالة الترسيبات باستخدام المواد الكيماوية:**

تضاف أحد الكيماويات الآتية من الأحماض إلي المياه في قيسون ومصفاة البئر، ثم تزداد المياه حتى امتلاء القيسون بالكامل، وتكون إضافة الحامض بالنسب التقريبية الآتية:

- حامض الهيدروكلوريك بتركيز ٥% (متوافر تجاريًا بتركيز ٢٣%)
- حامض السلفاميك (Sulphamic Acid) وهو عبارة عن حبيبات وإذابته في الماء بطيئة، بما يتطلب ترك الحامض في ماء البئر لمدة ١–٢ ساعة قبل البدء في تشغيل المكبس.
- حامض الجليوكوليك (Hydroxy Acetic Acid أو Glycolic Acid) وهو سائل، يوجد بتركيز ٢٠% وهو حامض ومطهر مثل الكلور؛ أي قاتل للبكتريا.

تضاف هذه الأحماض إلي كمية المياه المقدرة في قيسون البئر والمصفاة كالآتي:

من حامض الهيدروكلوريك تركيز ٥%، ٢٠لترًا لكل متر مكعب من المياه حامض السلفاميك، ١٠كيلو لكل متر مكعب من المياه، حامض الجليكوليك بتركيز ٢٠%، يضاف ١٠لترات لكل متر مكعب من المياه.

وقد يتم مضاعفة تركيز الحامض في حالة الآبار المتوقفة عن الضخ، مع ثبات منسوب المياه الاستاتيكي في البئر.

بعد إضافة الحامض يترك لمدة ١-٢ ساعة، ثم يتم البدء في تشغيل القرص أو المكبس الميكانيكي. ثم تضاف كمية من المياه حتى امتلاء القيسون. في حالة نقص المياه المضافة في القيسون لتسربه خلال المصفاة، تزاد كمية المياه المضافة إلي ما يعادل حجم المياه في القيسون والمصفاة، مع الاستمرار في رفع وإنزال المكبس (القرص) عدة مرات. يمكن استنتاج إزالة الترسيبات بملاحظة سرعة تدفق أي مياه مضافة خلال المصفاة حتى وصول المياه في قيسون البئر إلي المنسوب الاستاتيكي.

عندئذ تضاف كمية أخرى من المياه لإزاحة جميع المياه في القيسون والمصفاة المحملة بالحامض إلي التربة المحيطة بالمصفاة.

يتم رفع القرص أو المكبس الميكانيكي، وإعادة تركيب ماسورة السحب والطلمبة الغاطسة وإعداد البئر للتشغيل.

يتم تشغيل الطلمبة لسحب المياه في القيسون والمصفاة، وكذلك المياه المحيطة بالمصفاة في التربة الحاملة القريبة والمحملة بالأحماض. تستمر فترة تشغيل الضخ لفترة زمنية كافية لإزالة كل آثار للحامض في الماء مع ملاحظة الآتي:

تحديد الرقم الهيدروجيني للماء قبل المعالجة بالحامض، وكذلك استمرار ضخ المياه من البئر بعد المعالجة بالحامض حتى وصول المياه إلي الرقم الهيدروجيني (PH-Value) قبل المعالجة وثباته مع استمرار الضخ.

صرف المياه المحملة بالحامض يكون في مكان بعيد، مع توجيه المياه إلي حفره أو برميل به جير مطفي $Ca(OH)_2$؛ لإزالة حموضة المياه

بتعادلها مع قلوية الجير.. يمكن كذلك إضافة الصود آش ($Na_2 Co_3$)، أو محلول الصودا الكاوية بتركيزه ٥% لمعادلة كمية الحامض المضافة مع الضخ، قبل إعادة تجهيز البئر للإنتاج.

تطهير البئر:

قبل إحكام قفل البئر وإعادة تشغيله تجري عملية أخيرة وهـــي تطـــهير البئر من الكائنات الحية الدقيقة باستخدام الكلور؛ حيث يضـــاف الكلـــور إلي مياه البئر من خلال فوهة قيسون البئر، وعادة الكلور المستخدم فـــي هذه الحالة هو حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم ذات المحتوى من الكلـــور بنسبة ٦٥%، حيث تضاف الحبيبـــات مباشـــرة بمـــا يحقـــق جرعـــة ١٥٠ملجرامًا في اللتر للمياه في القيسون والمصفاة.. ولمســـافة ٣٠ســـم لحجم التربة حول المصفاة، ثم يترك البئر لفترة ٣-٦ ساعات. كما يجب ملاحظة تأكيد عدم وجود حموضة في الماء؛ أي إن الرقم الـــهيدروجيني (٧) فأكثر، وإلا تصاعد غاز الكلور أثناء إضافة الـــــهيبوكلوريت إلـــي الماء.

تؤخذ الإجراءات الوقائية للعاملين باستخدام الكمامات الواقية للوقاية مـــن غاز الكلور وغازات الأحماض، وكذلك الحذاء الواقي.

بعد فترة المكث للكلور للتطهير، يتم البدء في تشغيل البئر لسحب المبـــاه المحملة بهيبوكلوريت الكالسيوم.يتم قياس جرعة الكلور لمياه البئر قبـــل وبعد المعالجة؛ للتأكد من تحسن نوعية المياه وخلوهـــا مـــن الملوثـــات البكيترية (ومنها البكتريا المؤكسدة للحديـــد). وكذلـــك عمـــل التحـــاليل المعملية الكيماوية والبيولوجية للمياه، قبل البدء في تشغيل البئر للإنتـــاج؛ بهدف الاطمئنان علي سلامة وصلاحية الميـــاه للشـــرب والاســـتخدام المنزلي.

جدول (١-٢) يوضح كميات مركبات الكلور

اللازمة لعمل تركيزات الكلور في ٣,٨م^{٣} مياه.

تركيز الكلور	هيبوكلوريت الكالسيوم	محلول هيبوكلوريت الصوديوم (لتر)		
ملجرام/لتر	كيلو جرام	%٥	%١٠	%١٢
٥٠	٠,٣	٣,٨	١,٩	%١,٥
١٠٠	٠,٦	٧,٦	٣,٨	%٣
٥٠٠	٢.٩	٣٧,٩	١٨,٩	%١٥.١
١٠٠٠	٥,٨	٧٥,٧	٣٧,٩	%٣٠.٣

٣- إزالة الغازات المذابة وأملاح الحديد والمنجنيز من مياه الآبار:

أ- إزالة الغازات المذابة في مياه الآبار:

جرت العادة علي استخدام التهوية لمياه الآبار كمرحلة أولي أساسية في إزالة الحديد والمنجنيز: وإن كان هذا مطلوبًا إلا أن التهوية لها وظائف أخرى، بالإضافة إلي الأكسدة الأولية لأملاح الحديد والمنجنيز- فالتهوية تزيل الغازات المذابة في الماء، مثل: غاز ثاني أكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين بما يحسن من المذاق ورائحة المياه. وهذه الغازات التي تزال تستبدل بالهواء الجوي (الأكسجين حيث توجد حالة من الاتزان بين الماء والهواء).

إذابة الهواء الجوي المحتوى علي الأكسجين الذى يؤكسد أملاح الحديدوز المذابة، وكذلك يؤكسد أملاح المنجنيز منخفضة التكافؤ مثل بيكربونات المنجنيز، والتي تذوب في الماء حيث تتحول هذه الأملاح إلي الحديديك غير المذاب، وإلي أيدروكسيد المنجنيز غير المذاب. والغازات التي قد تكون مذابة في مياه الآبار الجوفية تشمل ثاني أكسيد الكربون، كبريتيد الهيدروجين، والنشادر، والمواد العضوية المتطايرة (Voc s).

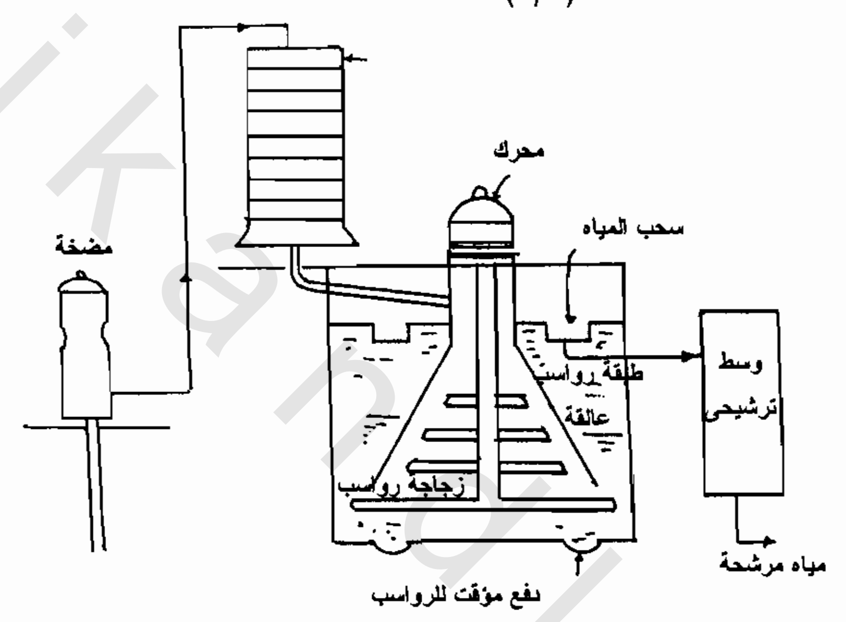
وإزالة هذه الغازات المذابة بالتهوية تخضع لقانون هنري، الذي يفيد بأن كمية الغازات المذابة في الماء تتناسب طرديًا مع ضغط الغاز في الهواء

الجوي. حيث عند درجة حرارة ٢٠°م وعند الضغط الجوي العادي يكون الماء في حالة اتزان مع الهواء، حيث يحتوي الماء عندئذ علي ١٥,٨جزءاً في المليون من غاز النيتروجين، ١١,٧ جزءاً في المليون من غاز الأكسجين، ٠,٥ جزءاً في المليون من ثاني أكسيد الكربون وكمية صغيرة لا تقدر من كبريتيد الهيدروجين. ويذوب كل من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين نسبيًا في الماء عند درجة حرارة ٢٠°م وعند الضغط الجوي العادي حيث يذوب ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٧٠٠جزء في المليون، كبريتيد الهيدروجين بنسبة ٢٥٠٠جزء في المليون.

ولكن نظرًا لأن الضغط الجزئي (Partial Pressure) لهذه الغازات في الضغط الجوي العادي يساوي صفرًا؛ نظرًا لعدم احتواء الهواء الجوي علي هذه الغازات.. لذلك فإنه في حالة إيجاد حالة من الاتزان بين الماء المذاب فيه غازات والهواء الجوي بواسطة التهوية الجيدة، فإن الماء يتخلص من كل الغازات المذابة ويتشبع بالنيتروجين وأكسجين الهواء الجوي. وتزداد إزالة الغازات من الماء مع زيادة زمن التهوية وخلط الماء بالهواء، وكذلك مع ارتفاع درجة الحرارة، وزيادة حجم الهواء الملاصق، مع زيادة مساحة التلامس بين الماء والهواء. وتزال الغازات من الماء كلما زاد تركيزها في الماء وقل في الهواء.

وتتم التهوية لإزالة الغازات المذابة باستخدام أبراج التهوية المقفلة المجهزة بصوانٍ مثقبة بفواصل في برج التهوية، موضوعة بما يسمح بحرية الماء وانتشاره علي الصواني أكبر فترة زمنية، وأكبر سطح تلامس وزمن تلامس، أو تكون الأبراج محتوية على وسط ترشيحى زلطى ليحقق التلامس بين الماء والهواء. وتعمل أبراج التهوية إما بسحب الهواء من أعلى برج التهوية؛ حيث يدخل من فتحات جانبية أو سفلية، أو بدفع الهواء من أسفل حيث فتحات تصريف الهواء أعلا البرج. ويجهز برج التهوية بهوايات تركب أعلا البرج أو أسفل البرج

مجهزة بمحركات تدار بالطاقة الكهربية. وتكون حركة الهواء في الحالتين في اتجاه معاكس لتدفق الماء من أعلا برج التهوية. تستخدم الأبراج المقفلة أساسا في إزالة الغازات المذابة في الماء وغير المرغوب فيها وغير الموجودة في الهواء الجوي: كما تزال بكفاءة تامة، وكذا تزال مواد عضوية أخرى وغازات ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين. وتسمي عملية إزالة الغازات بأبراج التهوية (Air Stripping) وهذه تحقق تحسناً فى نوعية المياه واستساغتها للشرب شكل (٢/٥).

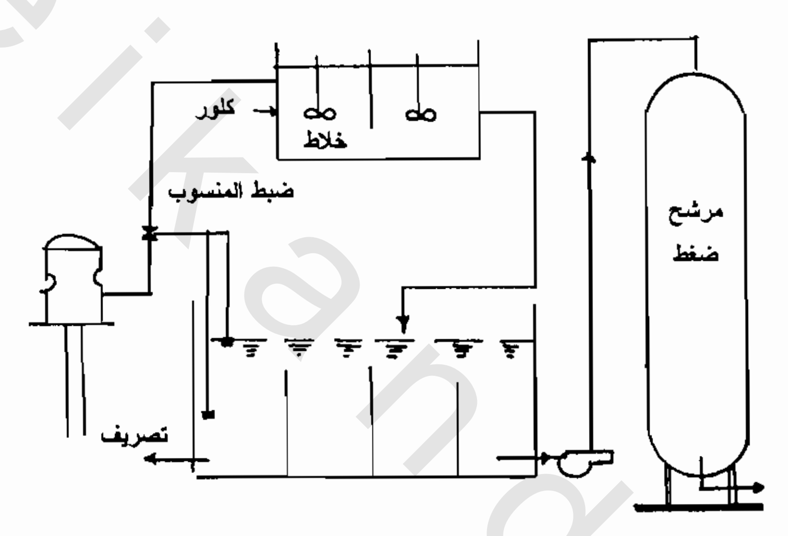


شكل (٢/٥): التهوية / الترسيب / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز لأكثر من ١٠ ملجرامات/لتر.

ب- <u>إزالة أملاح الحديد والمنجنيز</u>: شكل (٢/٥)، شكل (٢/٦).

توجد أملاح الحديد والمنجنيز غير العضوية عالية التكافؤ (الحديد ثلاثي التكافؤ والمنجنيز رباعي التكافؤ) في التربة وغير مذابة في الماء. وعند تعرض المياه الجوفية لظروف الاختزال، وخاصة نتيجة تحلل المواد العضوية التي تستهلك الأكسجين وتنتج ثاني أكسيد الكربون، عندئذ فإن مركبات الحديد والمنجنيز عالية التكافؤ وغير المذابة تتحول إلي ثنائية

التكافؤ، التي تذوب في الماء، لا لون لها. ولكن عند خروج المياه الجوفية وتعرضها لأكسجين الهواء الجوي، فإن هذه الأملاح المذابة تتأكسد وتتحول إلي الأملاح غير المذابة، والتي تظل عالقة في الماء حيث تعطي الماء اللون البني الطولي، وكذا المذاق المعدني غير المستساغ للشرب، هذا بالإضافة إلي سوء هذه النوعية من المياه في الاستخدامات المنزلية؛ لأنها تترك بقعًا ولطعًا حمراء علي الأجسام الملاصقة عند غسيلها بهذه المياه. أملاح الحديد المنجنيز مثل أملاح الكالسيوم والماغنسيوم تسبب العسر للمياه.



شكل (٢/٦): الكلورة / المكث / الترشيح لإزالة الحديد والمنجنيز.

يوجد الحديد والمنجنيز في المياه الجوفية بتركيزات، قد تصل إلي ٢٥ جزءًا في المليون أو أكثر، والمنجنيز عادة تكون نسبته أقل من نسبة الحديد، وتكون في حدود جزء واحد في المليون. أما مركبات الحديد مع المواد العضوية، فهي تكون عادة في شكل هلامي (Colloidal)، والتي تحتجز بواسطة حبيبات التربة. أما في حالة وجود هذه المواد في المياه السطحية (هذا نادرا ما يحدث بالنسبة لمياه النيل)، فإنه يلزم معالجة المياه بمحلول من لبن الجير (قلوي) لتكسير المركب الهلامي من المواد العضوية والحديد؛ حتى يمكن أكسدة الهواء بالهواء الجوي أو بالمواد الكيماوية.

ولإزالة الحديد والمنجنيز من مياه الآبار.. فإنه يلزم عمل مراحل تتلخص أساسا في الأكسدة بالتهوية، أو باستخدام المواد الكيماوية، ثم ترسيب الأملاح غير المذابة ثم الترشيح في المرشحات.

أكسدة الحديد والمنجنيز المذاب في المياه الجوفية:

تتأكسد مركبات الحديد المذابة في مياه الآبار الجوفية بأكسجين الهواء الجوي؛ حيث يتأكسد الحديد بنسبة عالية، ولكن المنجنيز يتأكسد بنسبة قليلة جدًّا؛ وذلك لأنه لكي يتأكسد، يتطلب رقمًا هيدروجينيًّا للماء أعلا من ٩,٥. الاحتياج الفعلي لكل جزء في المليون من الحديد هو ٦,٢ جزءًا في المليون من الأكسجين. ونظرًا لأن أكسجين الهواء الجوي المذاب في الماء عند التعرض للهواء الجوي، هو في حدود ١١,٧ جزءًا في المليون، لذلك فإن عملية التهوية تحقق أكسدة للحديد والمنجنيز في حدود ٢ جزء في المليون (للحديد أساسًا). ولذا يتم تكرار التهوية للماء لأكسدة ما يزيد عن ٢جزء في المليون من الحديد، وقد يتم اللجوء إلى استخدام الكيماويات لاستكمال عملية الأكسدة.

ويكفي التهوية لأكسدة الحديد والمنجنيز في حالة التركيز بنسبة ٢جزء في المليون، حيث تحقق التهوية كذلك الاستفادة بإزالة الغازات المذابة، وبذلك تتحسن نوعية المياه.. هذا بالإضافة إلي أن التهوية التي تزيل ثاني أكسيد الكربون المذاب تعمل علي رفع الرقم الهيدروجيني للمياه، والذي يساعد علي سرعة الأكسدة. في المجال المتعادل للمياه (الرقم الهيدروجيني٧) يمكن أكسدة الحديد بالكلور، أو باستخدام مركبات الكلور ولكن المنجنيز لا يتأكسد بالكلور في المجال المتعادل، بل يتطلب رفع الرقم الهيدروجيني إلي أعلا من ٩,٥ لكي يتأكسد بالكلور.

ولكن يمكن أكسدة المنجنيز في المجال المتعادل باستخدام برمنجنات البوتاسيوم؛ لذلك تجري مراحل الأكسدة بالكلور بعد التهوية لأكسدة

الحديد، ثم تتم الأكسدة بالبرمنجنات لأكسدة المنجنيز. زمن التلامس اللازم لأكسدة الحديد بالهواء الجوي وباستخدام الكلور هو ١٠ دقائق، أما زمن التلامس لأكسدة المنجنيز بالبرمنجنات هو دقيقتين. ثم بعد إتمام الأكسدة يتم فصل أملاح الحديد والمنجنيز المؤكسدة في حوض ترسيب قبل الترشيح أو الترشيح مباشرة؛ طبقًا لكمية المواد العالقة المطلوب إزالتها.

يتم الترشيح في مرشحات رملية باستخدام مادة أكسيد المنجنيز كعامل مساعد للأكسدة، ويكون في شكل طبقة متوسطة في الوسط الترشيحي، وبسمك ١٠-٢٠سم للمساعدة في إزالة المنجنيز. كما يفضل أن يتم الترشيح علي مرحلتين حيث يفصل الحديد المؤكسد أولاً، ثم يفصل المنجنيز بعد أكسدته بالبرمنجنات وإزالته بالترشيح. وإذا كانت نسبة الحديد والمنجنيز أقل من ٢ جزء في المليون، فإنه يمكن استخدام مواد التغليف (Chelating Agents)؛ لعمل غلاف حول أملاح الحديد بما يمنع من أكسدتها بالهواء الجوي. في هذه الحالة يختفي اللون الطوبي لهذه المواد، وتظل أملاح الحديد والمنجنيز في الماء. وقد تختصر المعالجة باستخدام التهوية والترسيب لإزالة هذه الأملاح القليلة.

كما تجدر الإشارة إلي أن التهوية أساسية لمعالجة مياه الآبار؛ نظرًا لأنها تزيل الغازات الحامضية، وبذا يرتفع الرقم الهيدروجيني للمياه، ومن ثم زيادة قدرة أكسجين الهواء الجوي أو الكلور علي أكسدة أملاح الحديد والمنجنيز.

طرق التهوية متعددة منها أبراج التهوية المقفلة بالصواني المثقبة أو بالوسط الترشيحي الزلطي أو التهوية بالرش أو بالمصاطب المتدرجة أو بالهواء المضغوط، أو بطرق أخرى كثيرة.

تقنيات معالجة المياه لإزالة الحديد والمنجنيز موضحة في الشكلين (٢/٥)، (٢/٦).

٤- إضافة الفلور إلى مياه الشرب: (Water Flouridation)

يضاف الفلور إلي مياه الشرب طبقا لمعايير علمية وطبية. الفلور موجود بنسب مختلفة في التربة، المياه، النباتات، وفي الأطعمة. أقصي تركيز للفلور في الثدييات يكون في العظام والأسنان.

الفلور مفيد للأسنان عند خلطه بمياه الشرب. فعند شرب المياه المحتوية علي الفلور يتسرب ٥٠% من الفلور إلي عظام الفك والأسنان، ٥٠% إلي المعدة وجدار المعدة ثم إلي مجرى الدم؛ حيث ينتشر في الجسم ويزداد تركيزه مع تقدم السن. ونظرا لأن الفلور يعتبر العنصر الباحث عن العظام.. فإن العظام والأسنان تجذب الفلور وتحتفظ به، حيث يكون امتصاص الأسنان للفلور سريعًا في مرحلة نمو الأطفال، ولهذا يفضل شرب المياه المحتوية علي الفلور بالنسبة للأطفال، قبل تكوين الأسنان المستديمة.

مستويات الفلور المرتفعة في مياه الشرب لها مردود صحي سئ، ولكن الفلور يجعل الأسنان مقاومة للأحماض البكتيرية، كما يساعد علي بناء المينا.

يوصي بتركيز الفلور في مياه الشرب بتركيز ٠,٧-١,٠ ملجرام/لتر. أما بالنسبة لتلاميذ المدارس يكون التركيز ٤ أضعاف ليكون من ٣,٢-٤ملجرام/لتر. يضاف الفلور في شكل فلوريد الصوديوم؛ حيث توفر ٨,٦ كيلوجرامات من فلوريد الصوديوم تركيز ١ملجرام/لتر لعدد ٣٨٠٠متر مكعب من المياه.

الفصل الثالث

خصائص المعالجة لمياه الصرف الصحي

١- موجز عن خصائص المعالجة لمياه الصرف الصحى

الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي هو إعدادها لتكون صالحة للصرف علي المصارف الزراعية، أو لاستخدامها في الري. تجري المعالجة للتخلص من نسبة كبيرة من الملوثات، سواء كانت من المواد الصلبة العالقة العضوية وغير العضوية أو الغروية (Colloidal) والعكارة والرائحة وتحسين اللون، وزيادة نسبة الأكسجين المذاب، والقضاء علي الكائنات الحية الدقيقة المسببة لأمراض الوبائية.

خصائص مياه الصرف الصحي:

تتكون مياه الصرف الصحي من المياه الخاصة بالاستعمال المنزلي، وقد تختلط بها مياه الصرف الصناعي المعالج أو غير المعالج، ومياه الأمطار، ومياه غسيل الشوارع، ومياه الرشح.

وتتغير مكونات مياه الصرف الصحي؛ أي ما تحتويه من ملوثات من وقت إلي آخر علي مدار السنة والشهر واليوم. إلا أنه يمكن تقدير المواد الصلبة العالقة والمذابة نحو إلي ٠,١% والماء بحوالي ٩٩,٩%، ويتأثر محتوى مياه الصرف الصحي بالملوثات وخصائصها؛ طبقًا لوقت صرفها في الشبكة ومدى تعرضها للهواء الجوي.

فعند صرف مياه الصرف الصحي في شبكة الصرف وعند بدء جريانها في شبكة الصرف، يكون لونها مائلاً إلي الرمادي مع وجود مواد طافية ورائحة نفاذة ولكنها غير كريهة. وعند تدفق هذه المخلفات السائلة في

شبكة الصرف.. فإن المواد الصلبة العالقة والطافية تتفتت ويتكون سائل متجانس أو عكارة عالية، ولون قاتم ورائحة كريهة نتيجة تحلل بعض المواد العضوية. ونظرًا لأن المياه المستعملة والغرض من استعمالها يتغيران من وقت إلي آخر، فإن المحتوى من الملوثات ودرجة تركيزها يختلف من وقت لآخر، ونجد أن التركيز يزداد في الصباح ويقل في الليل، كما أنه تبعًا لنشاط الصناعة من موسم لآخر، فإن درجة تركيز ما تحتويه من مواد مذابة أو عالقة تتغير.

أما بالنسبة لتعرض المخلفات السائلة للهواء الجوي، فإنها تحتوى عند بدء جريانها في شبكة الصرف علي بعض الأكسجين المذاب الذي سرعان ما يستهلك في نشاط البكتريا الهوائية التي توجد فيها، فإن لم يتجدد هذا الأكسجين بوجود مياه الصرف في اتصال دائم مع الهواء، فإن البكتريا الهوائية تموت وتنشط البكتيريا اللاهوائية، ويحدث تحلل لاهوائي أو تعفن (Putrification)؛ حيث تصبح المياه ذات لون داكن ورائحة عفنة نتيجة تحلل المواد العضوية إلي نشادر وكبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. أما في حالة تجدد الأكسجين في مياه الصرف بوجودها في اتصال دائم بالهواء، فإن البكتريا الهوائية تنشط، حيث يحدث التحلل الهوائي، والذي لا ينتج عنه روائح كريهة أو تركيز عالٍ في اللون. كما أن زيادة درجة الحرارة تزيد من نشاط البكتريا الهوائية واللاهوائية إلي حد معين، يبدأ بعدها نشاط البكتريا في الهبوط.

- **الملوثات من المواد الصلبة، المواد العضوية والكائنات الدقيقة في مياه الصرف الصحي:**

المواد الصلبة في مياه الصرف:

وهي مواد سهلة الترسيب؛ أي انها ترسب في زمن قصير وتقدر بحوالي ٥٠% من المواد العالقة، ومواد بطيئة الترسيب وتقدر بحوالي ٥٠% من المواد العالقة. تتراوح نسبة المواد الذائبة من ٦٥-٧٥% من

مجموع المواد الصلبة العالقة، بينما تتراوح نسبة المواد العالقة من ٢٥ إلي ٣٥% من مجموع المواد الصلبة. وفي عمليات معالجة مياه الصرف الصحي تحجز نسبة كبيرة من المواد العالقة.. بينما تمر معظم المواد المذابة في كامل عملية المعالجة دون تغيير، حيث يتغير قليل من المواد المذابة بالأكسدة. وتقدر نسبة كل من المواد العضوية والمواد غير العضوية بحوالي ٥٠% من مجموع المواد الصلبة.

المواد العضوية في مياه الصرف الصحي:

كمية المواد العضوية في مياه الصرف الصحي وكذلك تكوينها ومركباتها من الأهمية في عمليات معالجة هذه المياه والتخلص منها؛ نظرًا لأن تحلل هذه المواد هو المصدر الرئيسي للمتاعب في كل من عمليتي المعالجة والتخلص النهائي.

المكونات الرئيسية للمواد العضوية، هي: عناصر النيتروجين، الكربون، الأكسجين، الهيدروجين، الكبريت، الفوسفور..إلخ. تختلف نواتج تحلل المركبات العضوية طبقًا لوجود الأكسجين من عدمه. في حالة عدم وجود الأكسجين المذاب في مياه الصرف الصحي أو في حالة وجوده بنسبة أقل من ٠,١ جزء في المليون، فإنه عندئذ تنشط البكتريا اللاهوائية، وتتحلل المواد العضوية إلي غازات النشادر، كبريتيد الهيدروجين، الميثان، ومعظم هذه الغازات ذات رائحة نفاذة وكريهة. أما في حالة وجود الأكسجين، فإن البكتريا الهوائية تنشط وتكون نواتج التحلل الهوائي لمياه الصرف الصحي هي أملاح النترات والكبريتات، وثاني أكسيد الكربون ومواد أخرى غير ضارة.

- **الكائنات الحية الدقيقة في مياه الصرف الصحي:**

تحتوي مياه الصرف الصحي بالإضافة إلي المواد الصلبة العالقة والمذابة علي عديد من الكائنات الحية الدقيقة، وهذه تشمل: البكتريا، الفيروسات، الطحالب، البروتوزوا، الفطريات. يوجد كل نوع من هذه

الأنواع بالآلاف في كل سنتيمتر مكعب من مياه الصرف الصحي، وإن كان جزء كبير من هذه الكائنات الدقيقة غير ضار، بل إنه مهم في تثبيت المواد العضوية وتحويلها إلي مواد عضوية ثابتة. إلا أن بعضًا من هذه الكائنات ضار بسبب أمراض وبائية في حالة وجودها في مياه الشرب أو الطعام.

في مراحل المعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي، حيث يتم فصل المواد الصلبة العالقة والطافية (العضوية وغير العضوية) باستخدام المصافي وأحواض حجر الرمال والترسيب الأولي، حيث لا يبقي سوي المواد العضوية المذابة أو الهلامية (الغروية) (Colloidal) والتي لا ترسب في المعالجة الأولية؛ حيث يتم التخلص منها بالمعالجة البيولوجية الهوائية أو اللاهوائية أو بالجمع ما بين الهوائية واللاهوائية (facultative)- تقدر كمية هذه المواد العضوية المطلوب إزالتها باختبارين، هما:

الأكسجين الحيوي المطلوب (Biological Oxygen Demand- BOD)

الأكسجين الكيماوي المطلوب (Chemical Oxygen Demand- COD).

يتم التحلل الهوائي للمواد العضوية باستخدام أكسجين الهواء الجوي علي مرحلتين: في المرحلة الأولي، تتحلل المواد العضوية الكربونية وتتأكسد وتستغرق هذه العملية من ١٠إلي ١٥يوم. الأكسجين المطلوب لتحلل المواد الكربونية في المرحلة الأولي يعادل ٩٠% من إجمالي الأكسجين الحيوي المطلوب. مرحلة التحلل الأولي والتي قد تستغرق من ١٠- ١٥يوم: تتحلل فيها ٩٠% من المواد العضوية بالأكسده الهوائية في حوالي خمسة أيام، وهو ما يسمي بالأكسجين الحيوي الممتص (BOD_5)عند درجة حرارة ٢٠°م.

المرحلة الثانية للتحلل الهوائي يتم فيها أكسدة المواد العضوية النيتروجينية الأصل، يكون معدل استهلاك الأكسجين في هذه المرحلة

ثابتًا وأقل من المعدل في المرحلة الأولي. وتستمر هذه المرحلة حتى تمام أكسدة المواد العضوية، والتي قد تستغرق شهورًا؛ أي إنه في المرحلة الأولي يتناسب إستهلاك الأكسجين مع كمية المواد العضوية القابلة للتحلل، والتي تقدر بحوالي ٨٠-٩٠% من إجمالي المواد العضوية المذابة والهلامية.

يستخدم الأكسجين الكيماوي المطلوب لاختبار الأكسجين الكيماوي اللازم لأكسدة كل المواد العضوية، باستخدام كيماويات مؤكسدة مثل البرمنجنات والدايكروميت؛ حيث تستغرق هذه التجربة خمس ساعات فقط، بينما تستغرق تجربة الأكسجين الحيوي خمسة أيام. وتفيد تجربة قياس الأكسجين الكيماوي في التعرف علي كمية المواد العضوية غير القابلة للتحلل البيولوجي، مثل: مياه الصرف الصناعي في مياه الصرف الصحي، والتي لا يمكن تقديرها باختبار الأكسجين الحيوي المطلوب (BOD_5). يشمل اختبار الأكسجين المطلوب التعرف علي كمية المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي، وغير القابلة للتحلل البيولوجي، حيث تستنزل قيمة BOD_5 من قيمة COD؛ حيث الناتج هو دلالة علي المواد العضوية التي لا تتحلل بيولوجيًا. المعالجة الهوائية لمياه الصرف الصحي تشمل توفير الأكسجين لنشاط البكتريا الهوائية، والتي تتغذى علي المواد العضوية، وتعمل علي تثبيتها إلي مركبات ثابتة، علي أن تختصر فترة المعالجة لتكون لعدة ساعات (٦-٨ ساعة) بدلا من خمسة أيام.. هذا بالإضافة إلي استخدام أكسجين الهواء الجوي لتحقيق اقتصاديات المعالجة.

٢- دورة المواد العضوية فى الطبيعية:

تتلخص دورة المواد العضوية في الطبيعة فى أنه نظرًا لأن النيتروجين يشكل الجزء الأكبر من المواد العضوية، فقد اتفق علي وجود مختلف مركبات النيتروجين مقياسًا لما تعرضت له مياه الصرف من تحلل هوائي أو لاهوائي، والتي تتلخص في الآتي:

تحلل المواد العضوية الحيوانية أو النباتية أو الإفرازات بسبب تصاعد غازات كريهة، والتي تنتهي بظهور غاز النشادر، وهو أحد مركبات النيتروجين.. عندئذ تنشط البكتريا النيتروجينية (Nitrifying Bacteria) الموجودة في التربة وفي وجود الأكسجين الجوي؛ حيث تؤكسد النشادر إلي أملاح النيترويت ثم النترات، وهذه أملاح نيتروجينية ثابتة ولا تتحلل، حيث تمتص بواسطة النبات كغذاء، والذي يحولها إلي بروتين نباتي.. وهذه عندما تتغذي عليها الحيوانات تتحول إلي بروتين حيواني، وعند موت هذه النباتات أو الحيوانات، بالإضافة إلى الإفرازات فإنها تتحول جميعها إلي مواد عضوية نيتروجينية ميتة؛ حيث تتكرر الدورة وتتحلل هذه المواد النيتروجينية بفعل البكتريا إلي نشادر. ولذلك.. فإنه يمكن القول بأنه عند وجود نشادر بكثرة في عينة من الماء أو التربة، دل ذلك علي تلوث حديث للماء أو التربة بالمخلفات السائلة من مياه الصرف الصحي. أما في حالة وجود أملاح النيتريت أو النترات، فإن ذلك يدل علي تلوث قديم بمياه الصرف الصحي.

وهناك دورات أخرى غير دورة المواد النيتروجينية؛ حيث تتحول المواد العضوية الكبريتية إلي دورة أخرى مشابهه، تتحول فيها أولا إلي كبريتيد الهيدروجين، ثم بفعل البكتريا الكبرتيية في وجود الأكسجين يتحول كبريتيد الهيدروجين إلي الكبريتيد (Sulphite) والكبريتات، وهي مركبات ثابتة يمتصها النبات كغذاء.

كذلك تتعرض المواد العضوية الكربونية التي توجد في شكل النشا أو السكر أو السيليلوز بفعل البكتريا إلي ثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه النبات فيتحد مع الماء الوجود في النبات، وبفعل أشعة الشمس وعملية التمثيل الكلوروفيلي يتحول ثاني أكسيد الكربون إلي نشا وسكر وسليلوز.

٣- مراحل المعالجة لمياه الصرف الصحي: تتم عملية المعالجة لمياه الصرف الصحي خلال مرحلتين رئيستين، وهما: المعالجة الأولية والمعالجة الثنائية، حيث المرحلة الأولي تشمل حجز المواد الصلبة العالقة والطافيه بنسبة كبيرة، والمرحلة الثانوية تشمل المعالجة الهوائية للتخلص من المواد العضوية المذابة العالقة، والتي لا يمكن إزالتها بالترسيب، وهذه المرحلة الثانية تسمي المعالجة البيولوجية:

أ- المعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي: (Primary Treatment)

تجري المعالجة الأولية بمرور مياه الصرف الصحي خلال المصافي لحجز الأجسام كبيرة الحجم، طبقا لفتحات المصفاة وحجم المواد العالقة والطافية.

قد تكون المصافي من القضبان الحديدية أو الشبك المعدني، ويتم التنظيف ذاتيًا بالطرق الميكانيكية. وقد تجهز المصافي بأجهزة تقطيع (Commutator) أو طحن للأجسام العالقة كبيرة الحجم. بعد المصافي، تمر المياه علي أحواض حجز الرمال (Grit chamber)؛ لترسيب الرمال، والتي تسبب تلفيات في الطلمبات والمواسير في حالة وجودها. مدة المكث في أحواض حجز الرمال دقيقة واحدة؛ حيث ترسب الرمال عالية الكثافة وسريعة الترسيب. يلي ذلك أحواض الترسيب الأولي، والتي تكون مدة المكوث بها كبيرة بما يسمح بترسيب المواد الصلبة العالقة بطيئة الترسيب، وكذلك التخلص من المواد الطافية. وقد تستخدم التهوية في أحواض حجز الرمال أو في أحواض الترسيب الأولي حيث تساعد التهوية علي طفو الزيوت والشحوم، كما أنها تقلل من الكثافة النوعية للمياه نتيجة خلطها بالهواء، بما يساعد علي ترسيب الأجسام الصلبة العالقة صغيرة الحجم وذات الكثافة النوعية القريبة من كثافة الماء. هذا بالإضافة إلي أن التهوية تزيل الغازات المذابة في مياه الصرف الصحي، وتذيب كذلك أكسجين الهواء الجوي في مياه الصرف الصحي.

ويبلغ زمن المكوث في أحواض الترسيب الابتدائي ٣-٤ ساعات، في الأحواض التي لا تعقبها معالجة بيولوجية، ٢-٢,٥ ساعة في الأحواض التي تعقبها معالجة بيولوجية بالمرشحات الزلطية (Trickgling Filters)، ١,٥-٢ساعة في أحواض الترسيب الأولي التي تعقبها المعالجة بالحمأة المنشطة (Activated Sludge)، وتبلغ كفاءة إزالة المواد العالقة في أحواض الترسيب الأول ٤٠-٦٠%، ٢٥-٤٠% بالنسبة للأكسجين الحيوي المطلوب (BOD)؛ أي تبلغ نسبة المعالجة إجمالا لمياه الصرف الصحي بالمعالجة الأولية ٤٠-٥٠% بالنسبة للمواد العضوية، وغير العضوية، وكذلك بالنسبة للأكسجين الحيوي المطلوب.

ب- المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي (المعالجة البيولوجية):

Secondary Treatment (Biological Treatment)

المعالجة الثانوية هي المرحلة الثانية لمعالجة مياه الصرف الصحي بالطرق البيولوجية، حيث تسخر البكتريا للتخلص من المواد العضوية الموجوده في مياه الصرف الصحي، بتوفير الظروف الملائمة لحياتها ونشاطها وتكاثرها. تعمل البكتريا علي تحطيم المواد العضوية وتكسيرها لتحصل علي الغذاء والطاقة. ولكون البكتريا أثقل قليلا من الماء، فإن التخلص من معظمها بعد قيامها بواجبها يكون سهلاً بواسطة الترسيب بفعل الجاذبية. تحتاج البكتريا لكي تنمو وتنشط وتقضي علي المواد العضوية إلي كمية كبيرة نسبيًا من الكربون والنيتروجين والهيدروجين؛ حيث تحصل علي هذه العناصر من المادة العضوية. أما الأكسجين الذي تحتاجه البكتريا، فإنها تحصل عليه من الأكسجين المذاب في الماء. كما تحتاج البكتريا إلي قدر قليل من العناصر الأخرى، مثل: الفوسفور، الكبريت، الكالسيوم، المنجنيز، وقليل جدًا من العناصر الأخرى، مثل الزنك. تحلل المادة

العضوية بفعل نوع معين من البكتريا، يعتبر غذاءً لأنواع أخرى؛ حيث تنشط وتتكاثر وتستمر في تحطيم وتفكك المواد العضوية والحصول علي غذائها. كما أنه خلال امتصاص الكائنات الدقيقة للمادة العضوية فإنها تستهلك الأكسجين المذاب، وينتج عن ذلك الطاقة التي تستخدم في بناء كائنات جديدة.

ولذلك كلما زادت المواد العضوية، زادت حاجة الكائنات الدقيقة إلي الأكسجين. ولذا فإن كمية الأكسجين المستهلك من قبل الكائنات الحية الدقيقة هو الأكسجين الحيوي المطلوب (BOD) لإزالة المواد العضوية من مياه الصرف الصحي؛ حيث يتم قياسه كمعيار أساسي لتعيين مقدار التلوث العضوي في هذه المياه، وكذلك كبيان أساسي لتطبيق القواعد التصميمية لنظام المعالجة.

تتأثر مراحل التفاعل التي تمثل المعالجة البيولوجية الهوائية، التي تستهلك الأكسجين بعدة عوامل، وهي أن يكون الرقم الهيدروجيني ما بين ٦,٥-٨,٥، وأن الأكسجين المذاب لا يقل عن ١ملجرام/لتر، ودرجة الحرارة ٣٥°م حيث يكون أقصي نشاط للبكتريا. كما يلزم خلو مياه الصرف الصحي من المواد السامة القاتلة للبكتريا، والتي تسبب فشل المعالجة البيولوجية، كما يعتبر الخلط المناسب لتحقيق الالتصاق للكائنات الدقيقة في صورة زغبات (Flocs) أساسيًا لترسيبها. أما في حالة عدم وجود الأكسجين أو أن تركيزه أقل من ٠,١ملجرام/لتر، عندئذ تنشط البكتريا اللاهوائية حيث تتحلل المواد العضوية نتيجة غازات النشادر والميثان وكبريتيد الهيدروجين، وهذه الحالة غير مرغوب فيها في المعالجة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف الصحي.

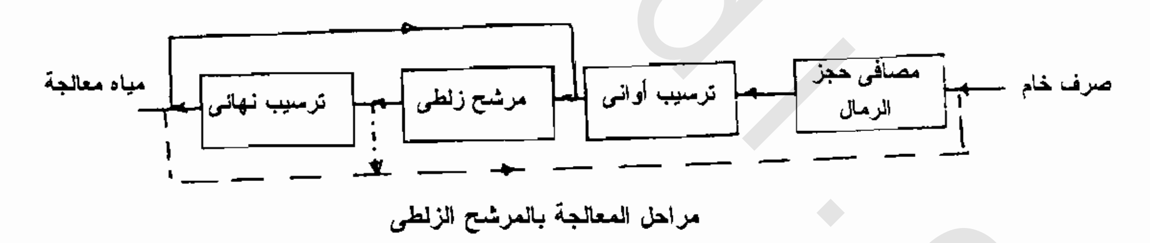
٤- تقنيات المعالجة لمياه الصرف الصحي:

توجد أساليب مختلفة لمعالجة مياه الصرف الصحي، ويتوقف اختيار طريقة المعالجة علي عدة عوامل، منها: كمية وأنواع الملوثات ونسبة الإزالة المطلوب الوصول إليها؛ حيث يتوقف ذلك علي الاستخدام

المستقبلي للمياه بعد المعالجة أو صرفها علي المصارف الزراعية، هـذا بالإضافة إلي مدى توافر المساحات من الأراضي لإقامة نظام المعالجـة. ويمكن توضيح خصائص طرق معالجة مياه الصرف الصحي فيما يلي:

أ- المعالجة بالمرشحات الزلطية: شكل (٣/١) (Trickling Filter).

تستخدم المرشحات الزلطية لمعالجة مياه الصـرف الصحـي، وكذلـك لمعالجة مياه الصرف الصناعي القابلة للتحلل البيولوجـي (مثـل ميـاه الصرف من الصناعات الغذائية). كما أن المرشـحات الزلطيـة لديـها القدرة في معالجة الأحمال الزائدة الطارئـة (Schock Loads)، وتوفـر كفاءة في الأداء ولا تتطلب مهارات عالية فـي المتابعـة والإشـراف. والمرشح الزلطي دائما يسبقه حوض الترسيب الأولي؛ حتى لا تتسـبب المواد القابلة للترسيب في قفل المسام للمرشح، وكذلك تجهز أحـواض الترسيب هذه بكاشطات تكشط الزغب الطافي. يلي المرشـح الزلطـي دائما حوض الترسيب النهائي لإزالة المواد القابلة للترسيب مـن الميـاه المعالجة، وكذلك من المفضل توفير تجهيزه لكشط الخبيث مـن المـواد الطافية من حوض الترسيب النهائي.



مراحل المعالجة بالمرشح الزلطى

ذراع دورانية لرش المياه

ركام

مقطع فى المرشح الزلطى

شكل (٣/١): المعالجة بالمرشحات الزلطية.

تتم المعالجة في المرشح الزلطي من خلال مرور مياه الصرف خلال الحبيبات الزلطية للوسط الترشيحي؛ حيث تتكون طبقة بيولوجية (Biological Slime) من البكتريا الهوائية، وكائنات بيولوجية أخرى علي أسطح أجسام الوسط الترشيحي من (الزلط، أو الأحجار، أو البلاستيك) المكونة لطبقة المرشح الزلطي، ويتم ذلك خلال حوالي أسبوعين حيث يكون عندئذ المرشح جاهزًا للعمل. يحدث امتصاص للمواد العضوية بواسطة الطبقة البيولوجية (Slime Layer)، التي تكونت علي سطح حبيبات طبقة المرشح الزلطي؛ حيث تتحلل بفعل البكتريا، وهذه البكتريا التي تتغذى علي المواد العضوية في وجود الأكسجين الهواء الجوي تتكاثر وتتراكم على سطح حبيبات المرشح، بما يزيد من وزن وسمك هذه الطبقة البيولوجية، عندئذ تسقط هذه الطبقة وتتكون طبقة بيولوجية أخرى؛ أي إن البكتريا التي تتغذى علي المواد العضوية في مياه الصرف الصحي تنشط وتنمو وتتكاثر حتى تسقط. يتوقف الأداء الجيد للمرشح الزلطي علي الحمل العضوي والحمل الهيدروليكي، والذي يؤثر علي سقوط الطبقة البيولوجية وتجديدها.

تنقسم المرشحات الزلطية إلي نوعين، وهما: ذات المعدل المنخفض حيث التحميل الهيدروليكي ١-٤م^{٣}/م^{٢}/ي، والحمل العضوي ٨٠-٣٢٠جرام/ي/م^{٢}، وذات المعدل العالي ١٠-٣٠م^{٣}/م^{٢}/ي بما فيه التدوير بينما الحمل العضوي ٥٠٠-١٠٠٠جرام/اليوم/م^{٢} دون تدوير. وعادة لايوجد تدوير في المرشحات البطيئة. يتراوح سمك طبقة المرشح في المرشحات البطيئة ما بين ١,٨-٣أمتار. وفي المرشحات ذات المعدل العالي، فإن سمك الطبقة يتراوح ما بين ١-١.٨ مترًا، حيث يتم الاعتماد على التدوير، أكثر منه على سمك طبقة الترشيح. المرشحات البطيئة ذات سمك طبقة ترشيح كبيرة، بما يتطلب زيادة في تكاليف الإنشاء، إلا أنها سهلة التشغيل وتعطي مياهًا معالجة بطريقة جيدة، ويفضل استخدامها في حالة الطاقة الهيدرليكية المحدودة. وبالمقارنة في حالة المرشحات ذات المعدل العالي، فإن جزءاً من المياه المعالجة يعاد

تدويرها خلال المرشحات. وهذا التدوير يحقق ميزة التصـــاق المـواد العضوية بالطبقة البيولوجية أكثر من مره بما يزيد من كفاءة المرشـــح، مع عدم احتمال الانسداد لزيادة التدفق الهيدروليكي، وكذلك يساعد هــذا علي انتظام توزيع مياه الصرف علي سطح المرشح، ويقلل من تـــأثير زيادة معدل التدفق أو الحمل العضوي. يتراوح معدل التدويـــر مـــابين ٠,٥إلي ٣، وما زاد عن ذلك يعتبر غـــير اقتصـــادي لميـــاه الصـــرف الصحي. وقد استخدم معدل التدوير ٨ مرات فأكثر في معالجـــة ميـــاه الصرف الصناعي ذات الأحمال العضوية العالية.

يتكون المرشح الزلطي من عدد ٢مرشح علي التوالي، يسبقها حـــوض ترسيب أولي، وقد يوجد حوض ترسيب متوسط أحيانـــا، كمـــا يوجـــد حوض ترسيب نهائي، حيث تتوافر إمكانات التدوير في كـــل مرحلـــة. ويتكون المرشح الزلطي من حوض مستدير أو مســـتطيل منشـــأ مـــن الطوب أو الخرسانة المسلحة المملوء بالزلط الفاير غـــير المســـامي، أو يقطع من الصخر أو فحم الأنثراثيت، أو من خبث الحديد أو الســـيراميك المحروق أو البلاستيك. ويكون حجم حبيبات الوسط الترشيحي مـــن ٥ إلي ٧سم مع القدرة علي التحمل ومقاومة العوامل الجوية. يلزم أن يكون حجم الركام واحدًا من القمة إلي القاع، وإن وجدت أحجام كبيرة فإنـــها توضع في القاع. توضع طبقة الوسط الترشيحي بعنايـــة ويدويًّـــا حتـــى ارتفاع ٢٥سم فوق نظام التصريف.

ويجهز قاع المرشح بنظام التصريف من قنوات علي شكل حـــرف (V)، تكون بقية سطح الأرضية يكون بميل في اتجاه قنوات التصريف (مـــن ١٠٠:١ إلي ٥٠:١) لجميع المياه المعالجة، وفي حالة استخدام الـــهواء المضغوط.. فإنه يمر كذلك خلال قنوات التصريـــف الســـفلية بســـرعة ٦٠سم/ث من خلال مواسير رأسية. وفي حالة التصميم الكفؤ للمرشـــح تتوافر التهوية الطبيعية الطافية، بما يزيد من كفاءتـــه. وهـــذه التهويـــة الطبيعية تتحقق نتيجة اختلاف درجة الحرارة بين الهواء الجوي وميـــاه الصرف. فعند فرق ٦درجات مئوية من الحرارة فإن الـــهواء يتحـــرك

بمعدل ٠,٣م^{3}/م^{2}/ث من سطح المرشح الزلطي، وعندما يكون فرق درجات الحرارة أقل من ١,٩ درجة مئوية، فإنه لا يحدث تحرك للهواء. وعادة فإن ٦ درجات مئوية فرق في درجات الحرارة كاف لتوفير كمية الهواء المطلوبة لمياه الصرف. ترش مياه الصرف علي سطح المرشح الزلطي من خلال ناشرات (رذاذات) ثابتة أو متحركة، من خلال أزرع تعلو طبقة الترشيح ١٥-٢٠سم ليمكن للمياه التهوية الكاملة علي سطح المرشح. كما يمكن أن تدار الأذرع بالفعل العكسي علي الأذرع الناتجة عن تسرب مياه الصرف، وذلك في حالة توفير ضغط رأسي ٣٠-٨٠ سم لمياه الصرف. كما يمكن أن تدار الأذرع بالطاقة الكهربية.

وبعد رش مياه الصرف خلال الفتحات من أذرع الرشاشات المتحركة علي سطح المرشح الزلطي، تبدأ مياه الصرف في التسرب خلال طبقة الترشيح. وعند تحركها يتم التعامل معها بواسطة البكتريا الهوائية، حيث تذوب المواد العضوية والهلامية وترسب مكونة طبقة جيلاتينية علي سطح الحبيبات الزلطية للمرشح. تتغذى البكتريا الهوائية علي هذه الطبقة وتؤكسدها، وتحولها إلي النترات والكبريتات والفوسفات..إلخ، ومع مرور الوقت فإن البكتريا تتكاثر وتتراكم علي سطح الحبيبات مكونة طبقة هلامية، والتي تزداد في السمك والوزن حيث تسقط في اتجاه قاع المرشح الزلطي، وتخرج مع المياه وترسب في حوض الترسيب النهائي. المرشح الزلطي العادي يزيل ٩٠% من الحمل العضوي، وتكون الحمأة المترسبة في حوض الترسيب النهائي كثيفة، ونسبة الرطوبة بها ٩٥%. المرشح العادي له كفاءة عالية في إزالة الحمل العضوي، والمياه المعالجة شديدة الثبات والحمأة المتكونة سهلة في عملية الهضم لمعالجتها. والعيب الرئيسي في المرشح العادي هو التكاليف العالية والحاجة إلي مساحات كبيرة للإنشاء وكبر سمك طبقة الترشيح، وللتغلب علي هذه السلبيات تمت التجارب بزيادة معدل تدفق مياه الصرف الصحي خلال المرشح، ولوحظ أن قلة سمك الطبقة الجيلاتينية أكثر كفاءة وتوفر غذاءً مستمرًا أكثر للبكتريا الهوائية، وكذلك

زمن الالتصاق للبكتريا أقل وبالتالي العمل مع مياه الصرف بما يقلل من أكسدة المواد العضوية. تكاليف الإنشاء للمرشح ذى المعدل العالي أقل من المرشح ذى المعدل العادي، وقد أصبحت المرشحات عالية الأداء أفضل من العادية بعد أن عدلت لتصبح طبقة الترشيح بسمك ١,٢-١,٧متر، وهذا حقق تهوية أفضل لزيادة معدل النشاط البيولوجي، وزيادة سرعة الأذرع الدوارة إلي ٢لفة في الدقيقة لزيادة معدل التغذية بمياه الصرف، وزيادة حجم حوض الترسيب النهائي لزيادة حجم الحمأة المترسبة وكذلك زيادة حجم المياه. وفي المرشحات ذات المعدل العالي فإن المياه الخارجية من المرشح يعاد رشها فوق طبقة المرشح، وهو ما يعرف بالتدوير شكل (٣/١).

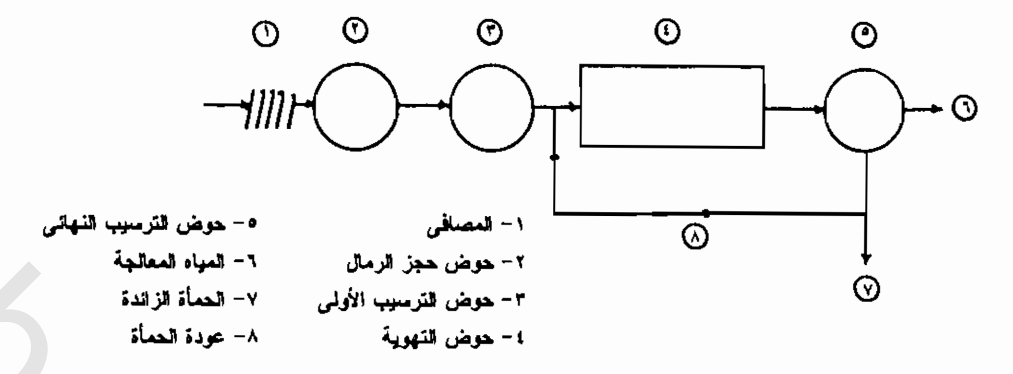
المرشحات البيولوجية: (Biofilters).

وهذه تسمي المرشحات ذات المرحلتين. وتتكون من مرشحين متصلين علي التوازي من المرشحات ذات المعدل العالي. في المرشح البيولوجي، فإن إعادة التدوير للمياه لا تتم في المرشح نفسه كما سبق توضيحه، ولكن تتم في المرشح التالي. في المرشحات البيولوجية يقل عمق الحوض إلي ٠,٩-١,٢متر فقط لتوفير الإنشاءات. تتميز المرشحات البيولوجية بزيادة المرونة في التشغيل، حيث عند زيادة التركيز لمياه الصرف، فإن المرشحات تعمل علي التوالي.. وعند قلة التركيز تعمل علي التوازن بالإضافة إلي قلة الحجم والعمق للمرشحات، وكذا إمكان وجود حوض ترسيب في مرحلة متوسطة بين المرشحات بما يعطي نتائج أفضل.

ب- المعالجة بالحمأة المنشطة: شكل (٣/٢) (Activated Sludge Process).

فى عملية المعالجة البيولوجية بالمرشحات الزلطية، فإن مياه الصرف تعالج بفعل البكتريا الهوائية، وعلى السطح الهلامى للمادة العضوية.

وعيوب هذه الطريقة هى حالات حدوث انسداد بطبقة الترشيح، كما لوحظ أنه عند دفع الهواء فى مياه الصرف الصحى تكون زغبات (Floc s) تحتوى على كائنات حية دقيقة منها البكتريا والبروتوزوا، والخمائر مثل تلك الموجودة فى المرشحات الزلطية. وعند توقف تدوير الهواء ترسب الزغبات المتكونة، وعند إضافة هذه الزغبات إلى مياه الصرف الصحى الطازجة.. فإنها تقوم بتحللها، وهذه الزغبات تسمى الحمأه المنشطة، وسميت كذلك لأنها شديدة النشاط، ويمكنها معالجة مياه الصرف الصحى الطازجة. عملية الحمأة المنشطة هى نظام هوائى بيولوجى لمعالجة مياه الصرف. المكونات الرئيسية للنظام هى حوض تهوية وحوض ترسيب نهائى، وخط مواسير لتصريف الحمأة الزائدة. تتم عملية الحمأة المنشطة بطريقة مستمرة، حيث يعد المعالجة الأولية فى حوض الترسيب الأولى لإزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب؛ لمنع حدوث انسداد للمرشح، بعدها تخلط مياه الصرف الصحى مع الكمية المطلوبة من الحمأه المنشطة، والتى تسمى كذلك الحمأة المعادة (Mixed Liquor).. وفى حوض التهوية تتم عملية التهوية لهذا السائل المخلوط مع التقليب لمدة ٤-١٠ ساعة، وذلك طبقًا لدرجة التنقية المطلوبة وتركيز مياه الصرف. يلى ذلك نقل المياه المخلوطة والمهواة إلى حوض الترسيب النهائى، حيث ترسب الحمأة. المياه المعالجة الخارجة من حوض الترسيب النهائى يتم التخلص منها فى المجرى المائى إبعد المعالجة بالكلور، تقتل الكائنات الحية الدقيقة الممرضة ثم المعالجة بمادة مختزلة مثل ثانى أكسيد الكبريت لاختزال الكلور المتبقى للمحافظة على الكائنات المائية فى المجرى المائى. وجزء من هذه المياه يتم خلطه مع مياه الصرف قبل دخولها إلى حوض الترسيب الأولى. وجزء من الحمأة المرسبة يرسل ثانية إلى حوض التهوية لتغذية مياه الصرف، والزيادة فى الحمأه المنشطة يتم معالجتها والتخلص منها بصورة مناسبة الشكل (٢-٣). يبين خطوات المعالجة بالحمأه المنشطة.



شكل (٣/٢): المعالجة بالحمأة المنشطة.

الحمأه المادة أو المنشطة، التى يتم الحصول عليها من حوض الترسيب النهائى، يتم إضافتها وخلطها مع المياه فى حوض الترسيب الأولى قبل دخولها إلى حوض التهوية. عادة لعمل السائل المخلوط (Mixed Liquor) ، فإن الحمأه المنشطة يتم حقنها فى خط المياه الداخل إلى حوض التهوية بنسب حجمية. يتراوح حجم الحمأة المعادة من ٢٥-٣٠% من حجم مياه الصرف قبل الترسيب فى حوض الترسيب الأولى. يمكن تقدير نشاط الحمأه المعادة باللون الذهبى البنى والكثافة.

فى بعض محطات المعالجة، فإن الحمأه المعادة يتم تهويتها أو تنشيطها قبل الخليط مع المياه الداخلة لحوض التهوية. كما أنه لوحظ زيادة كثافة الحمأة المنشطة عند خلط جزء من الحمأة المنشطة بمياه الصرف قبل حوض الترسيب الأولى. وتحدد كمية الحمأة المعادة بمعامل الحمأة (Sludge Index-SI) وهو النسبة بين حجم الحمأة المنشطة بالسنتيمتر المكعب لكل واحد جرام من الحمأة المجففة، وقيمة هذا المعامل تتراوح بين ١٥٠-٣٠٠.

المتغيرات الرئيسية فى عملية الحمأه المنشطة تشمل معدل التحميل، أسلوب الخلط، نظام التدفق. معدل التحميل العضوى يمثل النسبة ما بين (BOD_5) بالكيلو جرام فى اليوم (وهذا يمثل الغذاء للبكتريا) والكيلوجرامات من المواد الصلبة العالقة فى السائل المخلوط (Mixed

Liquor Suspendid Solids-MLSS) في حوض التهوية، والـذى يمثـل الكائنات الدقيقة (Food/Micro-organisms- F/M) أما طريقة الخلط فتتم بأسلوبين هما الخلط المتدرج والخلط الكامل. الخلط المتدرج يتـم فـى جزء من الحوض، وبقية الحوض لا يتم به الخلط، وكذلك فإن كلا مـن نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقـة (F/M) وكـذا الأكسـجين الحيـوى المطلوب تكون عالية عند المـدخل لحوض التهويـة، ثـم تبـدأ فـى الانتقاص. أما نظام الخلط الكامل فإن كلا من نسبة F/M ، BOD تكـون موجودة خلال حوض التهوية بالكامل.

أما نظام التدفق لعملية الحمأه المنشطة، فإنه يشمل الإطار العام لإضافـة مياه الصرف ولتدوير الحمأة إلى حوض التهوية، وكذلك نظام التهويـة؛ فإضافة مياه الصرف يمكن أن تكون من نقطـة واحـدة عنـد مدخـل الحوض، أو أن تكون عند نقطة متعددة على طول حوض التهوية. فـقـد تكون عودة الحمأة مباشرة من حوض الترسيب النهائى أو مـن خـلال حوض إعادة التهوية للحمأة. ويستخدم الهواء المضغوط بانتظـام علـى طول الحوض أو من أعلا الحوض إلى أسفله. تعتبر وحدات التهوية هى العنصر الأساسى فى الحمأة المنشطة لتوفير الأكسجين لمياه الصـرف. تتم التهوية إما بالناشـرات (Diffusers)، أو بالتهويـة الميكانيكيـة أو بالتهوية المختلطة التى تجمع بين الناشرات والميكانيكية.

وهناك عامل آخر وهو زمن المكوث (Retention Time) للمواد الصلبة، ويتوقف هذا العامل بالنسبة لكل من وحدة الوزن بالكيلوجرام من المـواد الصلبة العالقة فى المـاء المخلـوط أثنـاء التهويـة، مقسـومة علـى كيلوجرامات المواد الصلبة التى تم التخلص منها، كيلوجرامـات مـن المواد الصلبة التى خرجت مع المياه المعالجـة. وتتلخـص مميـزات المعالجة بالحمأه المنشطة بقلة التكاليف، ومساحة أقل مـن الأرض، ولا توجد روائح كريهة، والمياه المعالجة رائقة، كفـاءة المعالجـة حوالـى

٩٠%، الحمأة المنتجة عاليه القدرة فى التسميد، الضغط الرأسى للتشغيل قليل. أما عيوب المعالجة بالحمأة المنشطة تشمل: التكاليف المرتفعة للتشغيل، وتتطلب مهارات عالية للتشغيل، تتأثر بنوعية مياه الصرف المعالجة، إنتاج كمية كبيرة من الحمأة بما يشكل صعوبة فى التخلص منها، فى حالة وجود خلل فى التشغيل يتطلب مهارات خاصة لاستعادة كفاءة المحطة.

نظرًا لما تمتاز به طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة من مرونة فى التشغيل، فقد أدت الدراسات إلى إدخال بعض التعديلات فى أسس التصميم وطريقة التشغيل. ومن هذه الطرق:

- **طريقة التنشيط البيولوجى (Bio-Activation Process):**

فى هذه الطريقة تعالج المخالفات السائلة فى أحواض الترسيب الأولية ثم بالمرشحات الزلطية (بعمق ٦٠-٩٠سم)، ثم حوض ترسيب ثانوى ثم حوض تهوية ثم حوض ترسيب نهائى. وتؤدى هذه الطريقة إلى تحمل العملية الزيادة الطارئة فى الحمل العضوى، وكذلك إلى خفض زمن التهوية إلى ساعة أو ساعة ونصف.

- **التهوية على مراحل أو على التوالى (Stage Aeration):**

فى هذه الطريقة يستخدم حوضان للتهوية، يعملان على التوالى بينهما حوض ترسيب. تعتمد نظرية التشغيل فى هذه الطريقة على إتمام التزغيب فى الحوض الأول، ثم اتمام الأكسدة والتأزت (التحول إلى نيتريت ونترات) فى الحوض الثانى. وقد نجحت هذه الطريقة عند اتباع زمن التهوية ساعتين لكل حوض. كما يمكن تطوير هذه الطريقة باستعمال مرشحات زلطية بدلا من حوض التهوية الثانى. وهو إن كان تطويرًا غير اقتصادى، إلا أنه يساعد فى حل مشاكلات تشغيل المرشحات المحملة فوق طاقتها، وذلك بإنشاء حوض تهوية يعمل بالحمأة المنشطة قبل هذه المرشحات الزلطية.

جـ-بحيرات الأكسدة: (Oxidation Ponds)

تعتبر بحيرات الأكسدة إحدى الطرق التى يعتمد فيها على العوامل الطبيعية، مثل: ضوء الشمس، الأكسجين الجوى، درجة الحرارة؛ وذلك لتنشيط البكتريا الهوائية، والتى تؤكسد وتثبت المواد العضوية الموجودة فى المخلفات السائلة. بحيرات الأكسدة عبارة عن بحيرات صناعية كبيرة وضحلة (Lagoons) تتدفق إليها مياه الصرف المرسبة أو الخام حيث تبقى فيها مدة طويلة، تمكنها من امتصاص الأكسجين الجوى الذى تستعمله البكتريا الهوائية. كما يعيش ويتكاثر فى هذه البحيرات أعداد هائلة من الطحالب بأنواعها المختلفة، وهذه تستهلك الفضلات الناتجة عن أكسدة البكتريا للمواد العضوية، مثل: ثانى أكسيد الكربون والنشادر، وفى نفس الوقت يتصاعد منها الأكسجين فى أثناء عملية التمثيل الكلوروفيلى، تتوقف كمية الأكسجين المتصاعدة هذه على شدة الضوء فهى تزداد أثناء النهار حيث الضوء الساطع، ثم تأخذ فى الضعف أثناء الصباح الباكر، وعند الغروب وتتوقف نهائيا فى الماء. ولكن قد تشكل هذه الطحالب عبئًا إضافيًا، وذلك إذا ماتت حيث تضيف إلى المواد العضوية المطلوب أكسدتها فى مياه الصرف، وهذا يقلل من كفاءة الأداء البحيرات الأكسدة.

توجد ثلاثة أنواع من بحيرات الأكسدة، و هى:

١- بحيرات لاهوائية تليها بحيرات أكسدة هوائية:

وهذه تستعمل فى معالجة مياه الصرف الخام، حيث يتم فى البحيرة الأولى ترسيب المواد العالقة وتخميرها، ولا يحتاج الأمر لتنظيف هذه البحيرة مما رسب فيها؛ إذ إن معالجة مياه الصرف الخام، حيث فى البحيرة الأولى يتم ترسيب المواد العالقة وتخميرها، ولا يحتاج الأمر لتنظيف هذه البحيرات مما رسب منها، إذ إن حجمها الكبير لايتأثر بالكميات البسيطة من الرواسب التى تتجمع فيها.. وفى البحيرة الثانية يتم أكسدة وتثبيت المواد العضوية بفعل البكتريا

الهوائية. وعيب هذا النوع من البحيرات تصاعد الروائح الكريهة، كما يلزم خلال فترات متقطعة إعادة بعض المخلفات السائلة من البحيرة الثانية إلى الأولى، بواسطة طلمبات رافعة لتقليل تصاعد الغازات الناتجة عن التحلل اللاهوائى فى البحيرة الأولى. ولهذا لا يستخدم هذا النوع من البحيرات إلا فى المناطق المنعزلة والبعيدة عن السكان.

٢- بحيرات مهواة تهوية طبيعية:

وهذه تسود فيها البكتريا الهوائية، وتنشط فى أكسدتها للمواد العضوية، ولذلك لا تتصاعد منها غازات منفرة، إلا أن تكلفة إنشائها مرتفعة.

٣- بحيرات مهواة تهوية صناعية:

أحجام هذه البحيرات أصغر من البحيرات المهواه طبيعيًا. وفيها تتم التهوية عن طريق قلابات ميكانيكية، تقوم بإحداث اضطراب فى سطح الماء فى البحيرة بما يساعد على امتصاص الأكسجين الجوى، كما يساعد على خلط طبقات الماء بالبحيرة مع بعضها؛ حيث ينتشر الأكسجين والمواد العضوية بكامل عمق البحيرة، وبما يزيد من نشاط البكتيريا الهوائية. تتميز هذه البحيرة بصغر حجمها وانتشار البيئة الهوائية بكامل عمقها، مع عدم احتمال تصاعد الروائح المنفرة، إلا أنها تحتاج إلى إشراف دقيق لتشغيلها.

ويفضل عند استخدام نوعى بحيرات الأكسدة الهوائية أن يسبقها أحواض ترسيب ابتدائية لحجز أكبر كمية من المواد العالقة التى تزال على فترات للتخلص منها بعد تخميرها أو تجفيفها فقط. كما يفضل فى بعض الأحيان إعادة المخلفات السائلة من مخرج بحيرات الأكسدة إلى مدخلها، لتحسين حالة المخلفات بها. وقد تبنى أحواض تهوية قبل بحيرات الأكسدة لإزالة ما بها من غازات منفرة ناتجة عن أى تحلل لاهوائى.

تسمى البحيرات من النوع الأول بحيرات تثبيت لاهوائية هوائية، بحيرات النوع الثانى بحيرات تثبيت هوائية، النوع الثالث بحيرات الأكسدة المهواة.

تتميز بحيرات الأكسدة فى أنها لا تحتاج إلى إشراف فنى عالٍ، كما تستخدم فى معالجة مياه الصرف من المجتمعات السكانية الصغيرة حيث تتوافر مساحات الأراضى. يمكن أن تنشأ بجسور ترابية مكسوة بالدبش أو البلاطات الخرسانية عالية الكثافة، كما أنه يمكن تثبيت هذه الجسور بالأعشاب القصيرة مع إعطائها ميول ٢:١ - ٣:١؛ حيث يمكن الاستغناء عن التكسية بالدبش أو بالبلاطات الخرسانية.

د- قنوات الأكسدة:

تعتبر معالجة المخلفات السائلة بطريقة قنوات الأكسدة، تطويرًا لمعالجتها بالحمأه المنشطة ذات التهوية الممتدة. فى هذه الطريقة تعالج المخلفات السائلة بتهويتها فى قنوات بواسطة فرشة دائرية من الصلب، تقوم بعمل التقليب اللازم لمنع الترسيب فى القنوات، وكذلك عمل الاضطراب الكافى فى السطح. يمكن للمخلفات السائلة امتصاص الأكسجين الجوى. ومن ثم المحافظة على نشاط البكتريا الهوائية، التى تعمل على أكسدة المواد العضوية وتثبيتها. تصمم قنوات الأكسدة وإن اختلفت طرق تشغيلها على أساس بقاء الخليط من المخلفات السائلة والحمأة المنشطة من ١-٣ أيام، عمق القنوات من ٩٠-١٥٠سم، السرعة الأفقية لتدفق مياه الصرف فى القنوات ٣٠سم/ث.

تأخذ القناة عادة شكل الحلقة المقفلة المضغوطة من جانبيها. طرق التشغيل أما منقطعة أو مستمرة. فى التشغيل المتقطع تنساب مياه الصرف إلى القنوات باستمرار، كما يستمر تشغيل الفرش حتى يصل المنسوب إلى إرتفاع معين.. وعندئذ يوقف تشغيل الفرش لمدة ١-٢ ساعة، تعمل خلالها القنوات كحوض ترسيب نهائى، ثم يسمح للمخلفات

السائلة بالخروج من هدار علوى؛ حتى ينخفض المنسوب إلى ارتفاع معين، ثم يعاد تشغيل الفرش الدوارة، بعد أن يكون قد تم سحب جزء من الحمأة التى رسبت فى قاع القنوات لتجفيفها، قبل التخلص منها.

وفى هذه الطريقة يجب اعتبار جزء من عمق القنوات مخصصًا لترسيب الحمأة عند توقف تشغيل الفرش لتعمل القنوات كحوض ترسيب، بل تخرج المخلفات السائلة من القنوات إلى حوض ترسيب نهائى يتم فيه ترسيب الحمأة، والتى يعاد جزء منها إلى القنوات ليختلط مع المخلفات السائلة عند التهوية، وتخرج بقية الحمأه لتجفيفها والتخلص منها. تستعمل قنوات الأكسدة فى معالجة المخلفات من التجمعات السكانية الصغيرة، كما أنها تتميز بعدم تصاعد روائح منفرة؛ حيث يمكن إقامتها قريبا من التجمعات السكنية إلى حد ما دون ضرر.

هـ- تجفيف الحمأة والتخلص منها:

التجفيف على أسطح الرمال:

فى هذه الطريقة، يلزم إعداد أحواض التجفيف، مساحة كل منها حوالى ١٥×١٠ متر، وبعمق ١-١,٥ متر مزودة بشبكة من مواسير الصرف المفتوحة الوصلات فى القاع، ويتراوح البعد بين كل ماسورتين من ٤-٨ أمتار. تغطى شبكة المواسير بطبقة من الزلط بارتفاع ٣٥-٤٠ سم، ويكون الزلط بقطر ١-٥ سم، تعلوه طبقة من الرمال بارتفاع ٢٥ سم. توزع الحمأة على هذه الأحواض من قنوات، يرتفع قاعها عن السطح الأرضى بما لا يقل عن ٢٥سم، مجهزة بفتحات، وأمام كل فتحة لوح عائق لمنع اندفاع الحمأة فوق سطح الرمال، تنتشر الحمأة بعمق صغير حوالى ١٠سم ثم تترك لتجف عن طريق البخر وتسرب المياه داخل الرمال لمدة خمسة أيام صيفًا وتسعة أيام شتاءً، ثم تغطى بطبقة من الرمال لمنع توالد الذباب حتى يتم جفافها، ثم تزال لإعادة استعمال الحوض من جديد.

كما يمكن نشر الحمأة بالتتالى قبل وضع طبقة الرمل الأخيرة، إلـــى أن يصل العمق الكلى إلى بعد الجفاف إلى ٣٠سم. بعـــد إزالـــة الرواســـب المجففة من أحواض التجفيف الرملية تخزن على شكل أكـــوام مربعـــة مستوية السطح بارتفاع ١متر، ثم تغطى بطبقة الرمل بسمك حوالى ٣سم لمنع توالد الذباب على سطحها. تترك هذه الأكوام لمدة ٢٠-٤٠ يومًـــا، حيث تتعرض خلالها للتخمير الجزئى، والذى يرفع درجة حرارتها إلـــى حوالى ٦٥°م، بفعل البكتريا والرطوبة المتبقية فى الحمأة. تساعد هـــذه الحرارة على قتل ديدان الذباب قبل اكتمال نموها، وكذلـــك الحـــد مـــن بويضات الديدان الطفيلية. بعد هذه المدة تكون الحمـــأة المجففـــة معـــدة للاستخدام كسماد طبيعى، يحتوى على مواد عضوية بنســبة ٥٥-٧٥%، ومواد غير عضوية بنسبة ٢٥-٤٥%، وزيـــوت وشـــحوم ٥-٢٥%، وبروتين ٥-٢٠%، وفوسفور ٠,٥-١,٥%.

جدول (٢-١): استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة.

درجة المعالجة	النباتات المسموح بزراعتها	احتياطات بيئية وصحية	طرق الرى المناسبة	أنواع التربة
مياه صرف خام أو معالجة أولية	الأشجار الخشبية	عمل سياج حول الزرعة، عدم لمس المياه، منع دخول الماشية احتياطات منع الإصابة	بالقنوات والخطوط	صحراوية بعيدة عن السكان بمسافة ٥كم.
معالجة ثانوية	النخيل، القطن، الكتان، التيل فواكه قشرية، محاصيل أعلاف والحبوب المجففة، مشاتل زهور.	طهى الطعام، عدم تناولها للماشية المنتجة للألبان أو للحوم	الخطوط، التنقيط	حفيفة ومتوسطة القوام
معالجة متقدمة حيث يستخدم فى الكلور للتطهير	جميع أنواع النباتات والمحاصيل الزراعية		جميع طرق الرى	جميع أنواع التربة

الفصل الرابع

خصائص المعالجة لمياه الصرف الصناعى

١- خصائص التداول والمعالجة لمياه الصرف الصناعى:

مياه الصرف الصناعى لها خصائص بما يؤثر على أسلوب وتقنيات المعالجة؛ فهى تختلف فى احتوائها على الملوثات طبقا لنوع الصناعة، وكذلك طبقا للخامات المستخدمة وتكنولوجيا الإنتاج للمنتج الواحد، وكذلك تختلف من ناحية الكم وتركيز الملوثات فيما بين أوقات العمل وأوقات التوقف، وكذلك طبقا لأسلوب الإنتاج، سواء مستمرًا أو على دفعات (Batch). مياه الصرف الصناعى تشمل جميع أنواع الصناعات التعدينية والغذائية والبترولية والكيماوية والدوائية ودباغة الجلود والصباغة والتجهيز وصناعة الإليكترونيات.. إلخ.

معالجة مياه الصرف الصناعى لها خصائص طبقًا لنوع الصناعة ومراحل الإنتاج. تبنى خطة التخلص من الملوثات فى مياه الصرف الصناعى على متغيرات كثيرة؛ طبقا لظروف كل منشأة صناعية، واقتصاديات التخلص من الملوثات، حيث قد تشمل تحديث وتطوير نظم الإنتاج والخامات المستخدمة، بما يحقق الحد من الملوثات أو تبسيط تقنيات معالجتها. ولخفض التلوث فإن أولى المراحل هو إعادة التنظيم الداخلى لوحدة الإنتاج (Good House Keeping)، بما يشمل المحافظة على النظافة للحد من التلوث، وكذلك الفصل وعدم الخلط لكل نوع من أنواع التلوث، فى كل قسم من أقسام الإنتاج بالمصنع، وهو مايعرف (Segregation Of The Waste) ليمكن معالجة الملوثات لكل منها على

حدة وليسهل المعالجة لحجم صغير من مياه الصرف، بدلاً من إزالة نوعيات مختلفة من الملوثات من حجم كبير. ومرحلة المعالجة فى الأقسام المنفصلة قد تكون بسيطة، أو تتطلب عمليات خاصة. فمثلا بالنسبة للمياه الحامضية أو القلوية، يمكن إضافة كيماويات لتكون متعادلة أو بتنسيب الخلط بين تلك المياه إلى حد التعادل.

عمليات المعالجة لمياه الصرف الصناعى لها تقنيات خاصة؛ طبقًا لنوع الملوثات ففى عمليات الطلاء الكهربى بالمعادن (Electroplating) حيث توجد الملوثات فى السيانيد والكروم السداسى شديد السمية، فإنه لإزالة هذه الملوثات، فإنه يتم أكسدة السيانيد بجرعة عالية من الكلور فى مجال حامضى (pH-3) ثم يختزل الكروم السداسى إلى الثلاثى التكافؤ فى مجال قلوى (pH-9)؛ ليمكن ترسيبه فى شكل إيدروكسيد الكروم وفصله. من هذا المثال، فإن تقنيات المعالجة لمياه الصرف الصناعى قد تكون أكثر تعقيدًا من عملية الإنتاج نفسها. كما أن لها تقنياتها الخاصة التى لاتتوافق كثيرا مع تقنيات الهندسة الصحية. عمليات معالجة مياه الصرف الصناعى ثبت جدواها الاقتصادية، وذلك لإمكان استعادة الملوثات، والتى تمثل الخامات والمواد الوسيطة والمنتج النهائى، هذا بالإضافة إلى إمكان استعادة استخدام المياه؛ طبقًا لظروف العملية الصناعية (كما فى حالة المياه الخالية من العسر أو من الملوحة).

ولذلك.. فإنه أحيانا قد تكون المياه المنتجة بعد المعالجة لمياه الصرف الصناعى أقل تكلفة من معالجة المياه العكرة أو من ضخ مياه الآبار. ولهذا فقد تبنت معظم الدول الصناعية سياسة المعالجة لمياه الصرف الصناعى واستعادة المياه لاستخدامها مرة أو مرات، حيث لا تتم التغذية بالمياه للعملية الصناعية إلا لتعويض المياه، التى استخدمت كخامات فى العملية الصناعية فقط (Make Up Water) ومن هذا المنطلق فقد رفعت بعض المصانع شعار نظام المياه المغلق (Closed Water System). وقد

تتطلب عملية معالجة مياه الصرف الصناعى لإزالة نوع معين من الملوثات فى أحد أقسام الإنتاج تجميع مياه الصرف هذه، خلال فترة زمنية فى حوض تجميع واحد، وإجراء عملية المعالجة لإزالة هذه الملوثات مرة واحدة. أما فى حالات اختلاف التركيز للملوثات أو اختلاف التدفقات لمياه الصرف فى أقسام الإنتاج، فإنه عندئذ يتم تجميع مياه الصرف فى حوض واحد لتسوية تركيز الملوثات، وكذلك لتسوية حجم التدفقات، ويسمى هذا الحوض بحوض التسوية (Equalization Tank). وقد يتم التجميع لنوعية واحدة أو أكثر من الملوثات، التى لها نظام معالجة واحد مثل المعالجة البيولوجية، والتى قد تتم فى المصنع أو لعدة مصانع أو للصرف على شبكة الصرف الصحى للمدينة. كما يلزم الفصل فى المصانع بين الشبكات الحاملة لمياه الصرف الصناعى بعد المعالجة ما قبل الأولية (Pre-Primary Treatment) فى أقسام الإنتاج؛ حيث يتم تجميع المياه التى تحمل نوعًا واحد أو أكثر من الملوثات لإجراء المعالجة المجمعة، كما فى حالة ترسيب المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصناعى أو فى حالة المعالجة البيولوجية.

عادة فى كثير من مياه الصرف الصناعى، كما فى حالة الصناعات التعدينية والإليكترونيات، لا توجد العناصر اللازمة لغذاء البكتريا فى المعالجة البيولوجية مثل الفوسفور والنيتروجين؛ مما يتطلب إضافة هذه العناصر فى شكل أملاح الفوسفات واليوريا. بعض المواد العضوية وغير العضوية يمكن أن تفسد المعالجة البيولوجية؛ حيث يتأثر نمو البكتريا وتكاثرها أو حتى موتها. والمواد العضوية ذات أدنى تركيز مسموح به منها رابع كلوريد الرصاص ($PbCl_4$)، حيث يجب عدم زيادة تركيزه عن ٠,٠٠١ ملجرام/لتر، وكذلك مركبات التيتاينوم، الزئبق، الهيليوم، الكروم السداسى، مركبات البورون عن ٠,٠٥ ملجرام/لتر. أقل مواد سمية للمعالجة البيولوجية، هى أملاح الصوديوم، الماغنسيوم، الليثيوم والتى ليس لها تأثير فى حالة وجودها فى الماء بنسبة ١%.

معظم الكائنات الدقيقة التى تقوم بالمعالجة البيولوجية لا يمكنها دائما التعامل الفورى مع أنواع جديدة من الملوثات الصناعية؛ خاصة فى حالة اختلافها كثيرا عن الملوثات العادية فى مياه الصرف الصحى (وذلك فى حالة المعالجة البيولوجية المشتركة لمياه الصرف الصحى والصرف الصناعى)، ولكن بعد فترة قد تتأقلم البكتريا على هذه الأنواع من الملوثات وتؤكسدها. كذلك.. فإن الأكسدة للمواد العضوية المنيعة (التى يصعب أكسدتها بيولوجيا) تحدث بمعدل بطئ جدا، ولا تتحقق الأكسدة فى ظروف التشغيل العادية لوحدة المعالجة

وكلما زاد التشعب (Branching) لسلسلة المادة العضوية، زادت مقاومتها للأكسدة البيولوجية، مثلما فى حال المركبات (Cyclic ،Heterocyclic). وكلما زاد عدد ذرات الكلور فى الجزئى، قلت سرعة الأكسدة وزادت سمية المركب، ولذا فإن المركبات حتى ٢ ذرة كلور فى المركب العضوى يمكن أن تزال بالمعالجة البيولوجية، وفى حالة وجود ٤ ذرات كلور يمكن إزالتها بالفحم المنشط قبل المعالجة البيولوجية، والأكسدة البيولوجية الهوائية لمياه الصرف الصناعى ليست دائما مكتملة (ثانى أكسيد الكربون + ماء)؛ حيث قد تظهر بعض المواد فى المياه بعد المعالجة البيولوجية، والتى لم تكن موجودة أصلا فى المياه قبل المعالجة، وهذه فى بعض الحالات قد تكون أكثر سمية للمعالجة البيولوجية عن الملوثات الأصلية، قبل أكسدتها. بعض مياه الصرف الصناعى، ذات الأحمال العضوية العالية. أكثر من ١٥٠٠ ملجرام/لتر أكسجين حيوى، تحتاج إلى المعالجة البيولوجية اللاهوائية، وكذلك كثيرا من المواد العضوية المعقدة المقاومة للتحلل البيولوجى الهوائى؛ حيث يمكن أن تتحقق درجة عالية من إنتاج المركبات الثابتة وإنتاج البيوجاز (غاز الميثان) ، وهذه تتطلب طاقة قليلة دون استخدام أكسجين الهواء الجوى.

٢- المعالجة المسبقة لمياه الصرف الصناعى (Pre - Treatment): تتم المعالجة المسبقة فى المصنع؛ لإعداد مياه الصرف الصناعى لتكون صالحة للصرف على شبكات الصرف الصحى؛ حيث تجرى لها المعالجة الأولية والثانية باختلاطها بمياه الصرف الصحى، ولذلك تسمى أحيانًا المعالجة قبل الأولية (Pre-Primary Treatment). تجرى هذه المعالجة المسبقة؛ نظرًا لأن كثيرًا من الملوثات فى مياه الصرف الصناعى يتلف شبكة مواسير الصرف، ومحطات المعالجة البيولوجية؛ حيث يلزم الإزالة المسبقة للمواد الطافية والعالقة مثل الزيوت والشحوم والمواد القابلة للاشتعال والأخشاب وقطع الأثلام البالية، وما شابه ذلك؛ حيث تعمل هذه الملوثات على انسداد الشبكة أو التراكم فى قطاع المواسير؛ بما يقلل من قطر التدفق لمياه الصرف ويحدث الطفح.

وهناك مواد عضوية، وغير عضوية سامة يلزم التخلص منها بالمعالجة المسبقة، قبل دخولها إلى الشبكة مثل بعض مشتقات منتجات صناعية الكوك والصبغات والدباغة وبعض الصناعات الدوائية، وكذلك المواد غير العضوية مثل أملاح المعادن الثقيلة كالزرنيخ والكروم والرصاص والكادميوم والزنك والنحاس، وهذه المواد تسبب مشاكلات لوحدة المعالجة البيولوجية؛ حيث تقتل أو تقلل من نشاط البكتريا القائمة بالمعالجة البيولوجية.

كذلك يلزم التخلص من المواد العضوية غير القابلة للتحلل البيولوجى (Refractory Or In Biodegradable)، والتى لا تعالج فى وحدة المعالجة البيولوجية الهوائية التقليدية، وإن كانت تعالج نسبيًا فى وحدات المعالجة البيولوجية اللاهوائية، أو باستخدام المرشحات الزلطية الهوائية تليها المعالجة الهوائية بالحمأة المنشطة، وهذا بطبيعة الحال يشكل عبئًا اقتصاديًا على محطات معالجة مياه الصرف الصحى التقليدية؛ ولذلك فإنه يلزم التخلص من هذه المواد من مياه الصرف الصناعى، قبل صرفها على شبكات الصرف الصحى.

إلا أنه كما سبق أن أوردنا، ولو أنه ثبت فى بعض الحالات أن وجود المواد السامة فى محطات المعالجة البيولوجية قد أوجد بعض المعوقات فى المراحل الأولى لتشغيل المحطة، إلا أنه استمرت كفاءة العمل بالمحطة رغم وجود هذه الملوثات، وعند العمل على التخلص منها عادت المحطة إلى ما كانت عليه قبلا حيث قلت كفاءتها، وسميت هذه الظاهرة بتأقلم البكتريا على المواد السامة (Acclimatization)، ولا نعنى بذلك هو الأخذ بهذه الظاهرة، ولكن للعلم فقط، وإن كان السبب فى استمرار كفاءة العمل بالمحطة يعود إلى ثبات نوعية المياه وعدم تغيرها.

ولا تجرى المعالجة المسبقة للتخلص من المواد، التى تسبب الانسداد لشبكات الصرف أو المواد السامة، أو غير القابلة للتحلل البيولوجى فقط، ولكن تتم المعالجة المسبقة لتكون مياه الصرف الصناعى مطابقة للمعايير المقررة للصرف على شبكات الصرف الصحى والمنصوص عنها فى القانون ١٩٩٤/٤، حيث يلزم أن تقوم المنشأه الصناعية بعمليات المعالجة المسبقة بما يمكن محطة المعالجة لمياه الصرف الصحى من معالجة مياه الصرف الصناعى، بما فيها من ملوثات والوصول بها إلى المستوى المقرر للصرف على المجارى المائية، طبقاً للقانون المشار إليه مسبقا، وطبقاً لقدرة محطة المعالجة على إزالة هذه الملوثات.

مثال:

إذا كانت المعايير المقررة لصرف المياه المعالجة على المجارى المائية هى ٤٠ جزءاً فى المليون بالنسبة للحمل العضوى (الأكسجين الحيوى)، وكانت كفاءة محطة المعالجة فى إزالة الحمل العضوى هى ٩٠%، وأن مياه الصرف الصناعى بها تركيزات من الحمل العضوى ١٠٠٠جزء فى المليون، فإن أقصى تركيز للحمل العضوى مسموح به لدخول محطة المعالجة يقدر بالآتى:

$$A = \frac{B}{C - 1}$$

حيث A = أقصى تركيز لكل نوع من الملوثات، يسمح بمعـــالجته بعــد المعالجة المسبقة.

B = أقصى نسبة تركيز للملوثات يسمح به بعد المعالجة، حيث يتـم صرفه على المجارى المائية.

C = قدرة محطة المعالجة لمياه الصرف الصناعى على إزالة هـذه الملوثات.

وبتطبيق هذا القانون على المثال السابق، ترى أن:

$$A = \frac{40}{1-0.9}$$

حيث A = ٤٠٠؛ أى إنه فى حالة تركيز الحمل العضـــوى فـــى ميـاه الصرف الصناعى ١٠٠٠ جزء فى المليون، فإنـــه يجـــب أن تجرى لها المعالجة المسبقة لخفض تركيز الحمـــل العضـــوى بنسبة ٦٠%، وذلك قبل الصرف على شبكة الصرف الصحى.

وهذا يتطلب التحليل الكيماوى والبيولوجـــى المســبق لميـــاه الصـــرف الصناعى لتقييم إمكانية معالجتها.

فى هذا المجال يصبح أمام المنشأه الصناعية الخيارات، وهى إمّا عمـــل المعالجة للوصول إلى الحدود المسموح بها فى محطات معالجة الصرف الصحى، أو أن تتم المعالجة كاملا فى محطة معالجـــة تابعـــة للمنشـــأة الصناعية أو لعدة مصانع متجاورة. ولكن بالنسبة للصناعات الصغـــيرة والأنشطة الحرفية والمهنية والتجارية حيث قد تتطلب المعالجة تقنيـــات عالية فوق قدرة هذه الأنشطة الصغيرة، بالإضافـــة إلـــى عـــدم توافـــر المساحات اللازمة لعمليات المعالجية، ففى هـــذه الحـــالات قـــد يســـمح بالتخفيض باستخدام المياه للوصول بالملوثات إلى التركيزات المطلوبـــة والمقررة للصرف على شبكة الصرف الصحى.

٣- المعالجة المسبقة التى تسبق المعالجة فى محطة المعالجة البيولوجية للمرفق تشمل ثلاث عناصر رئيسية عمومًا، وقد تكون أقل من ذلك فى كثير من مياه الصرف الصناعى للصناعات المختلفة، وهذه العناصر هى:

أ-عمليات المعالجة الطبيعية:

حيث يتم فصل المواد الصلبة والزيوت والشحوم فى أحواض، تحقق الترسيب والطفو لإزالة المواد المرسبة وكشط المواد الطافية. وكذلك قد يحقق الحوض نفسه معدلاً ثابتًا للتدفقات لهذه المياه إلى شبكة الصرف الصحى، وهذا يسمى حوض التسوية (Equalization Tank) وذلك لمنع صدمات التحميل على محطة المعالجة.

ب-عمليات كيماوية:

وتشمل ضبط الرقم الهيدورجينى إلى درجة التعادل لمياه الصرف الحامضية أو القلوية وذلك لعدم إتلاف مواسير شبكات الصرف بفعل الحموضة أو القلوية العالية، وكذلك التخلص من المعادن الثقيلة والمواد العضوية المسببة لسمية الكائنات الدقيقة فى المعالجة البيولوجية؛ حيث تجرى المعالجة المسبقة إلى حد التركيز المطلوب.

جـ-عمليات بيولوجية:

وهذه تتم لخفض الحمل العضوى إلى الحد المطلوب للصرف على شبكات الصرف الصحى. هذا وتجدر الإشارة إلى أن المعالجة البيولوجية قد تتم فى المنشأه الصناعية، أو فى عدة منشآت صناعية فى حالة توافر الأراضى؛ وخاصة بالنسبة للمنشآت ذات الظهير الصحراوى؛ حيث يمكن استخدام أحواض الأكسدة أو برك الأكسدة الهوائية (ولكن فى حالة برك الأكسدة الهوائية حيث أكسجين الهواء الجوى، وكذلك الأكسجين الناتج عن عمليات التمثيل الضوئى

للكائنات النباتية، التى تنمو فى البرك المهواة، فإن البرك المهواة لاتصلح فى حالة مياه الصرف الصناعى الملوثة؛ حيث يمنع هذا وصول أشعة الشمس إلى جذور الأحياء النباتية وقتلها).

د-المعالجة الكهروكيميائية:

استحدثت تقنيات حديثة لمعالجة مياه الصرف الصناعى، وهى المعالجة الكهروكيميائية حيث تقوم بعمليات الترويب للمواد العالقة، والتى يمكن ترسيبها والتخلص منها، وكذلك عمليات الطفو للأجسام العالقة والطافية ذات الكثافة النوعية أقل قليلاً من كثافة الماء وعمليات الأكسدة؛ حيث يتم التحكم فى كثافة التيار على الكاثود فى كل حالة من حالات المعالجة.

ففى حالة استخدام الترويب، يتم الاستعانة بحوض مجهز بأنود وكاثود ومصدر للتيار الثابت، وسائل اليكتروليتى، والذى هو مياه الصرف الصناعى، ولعملية الترويب يستخدم أنود نشط (يتآكل) من الحديد أو الألومنيوم (الخردة) حيث يتحول الأنود إلى الأيدروكسيد لأملاح الحديد أو الألومنيوم، شأنه شأن مواد الترويب المستخدمة فى إزالة المواد العالقة. أما فى حالة استخدام عمليات الطفو، يستخدم آنود خامل من سبائك معينة أو من الجرافيت؛ حيث يتصاعد غاز الهيدروجين حول الكاثود خلال الماء، حاملاً معه الزيوت القابلة للطفو حيث يمكن كشطها.

أما الاستخدام الثالث، فهو عملية الأكسدة لبعض الملوثات مثل السيانيد، الكبريتيد، النشادر، أملاح الينتريت. حيث يستخدم كذلك آنود خامل (غير نشط) حيث يتصاعد من حوله الأكسجين النشط، الذى يقوم بعملية الأكسدة، كما يمكن زيادة قدرة الخلية الكهربية على الأكسدة، وذلك بإضافة كلوريد الصوديوم بنسب معينة؛ حيث يتصاعد غاز الكلور المؤكسد والذى يذوب فى الماء. يستفاد بهذه التقنية فى الصناعات الصغيرة المنتجة للملوثات وخاصة الملوثات السامة، وكذلك المواد

العضوية، التى لا تتأكسد بيولوجيًّا مثل صبغات الآزو النيتروجينية (Azodyes)، وحيث المساحات المحدودة، وكذلك لمياه صرف بعض الصناعات الكيماوية والدوائية والصبغات والبويات.

٣- معالجة مياه الصرف لبعض الصناعات:

أ- صناعة الحديد والصلب:

تتم المعالجة بالطرق الطبيعية أو الكيماويات، يلى ذلك المعالجة البيولوجية فى محطات الصرف الصحى.

وتتم عمليات المعالجة لإزالة الملوثات كالآتى:

- إزالة الفينول من مصنع الكوك باستخلاصه بالبخار أو بمذيب، المعالجة البيولوجية أساسية لخفض تركيز الفينولات.
- تزال المواد الصلبة العالقة والزيوت فى أحواض الترسيب المزودة بكاشطات علوية وسفلية. حيث يستخدم البولى إليكتروليت لتحسين ترسيب المواد العالقة، كما يستخدم الطفو الذى يلى عملية إلغاء الاستحلاب لاستعادة زيوت التشحيم واستخدامها. يمكن المعالجة بالجير المطفى للترويب ثم الترسيب والترشيح فى وسط ترشيحى مزدوج لإزالة المواد العالقة، وترسيب وإزالة المعادن الثقيلة المذابة.
- يزال الكروم من مياه صرف مطحنة القصدير وجلفنه ألواح الصلب بالاختزال بكبريتات الحديدوز (Copperas) أو ثانى أكسيد الكبريت، يتم بعد ذلك ترسيب الكروم المختزل بالجير.
- السيانيد فى مياه صرف مطحنة القصدير وجلفنه ألواح الصلب، يمكن معالجته بالكلورة القلوية، ولكن السيانيد فى مياه صرف الكوك وفرن صهر الحديد يجب معالجته بيولوجيا؛ نظرًا لأن كلورة هذه المياه تكون الكلوروفينولات المسببة للمذاق السئ، والتى تقاوم أى عملية تحلل تالية.

- مياه معالجة السطح المعدنى بالحامض (Pickling) يتم معالجتها بتعادلها باستخدام الجير المطفى، ثم الصرف على السطح المائى أو شبكة الصرف الصحى.
- مياه التبريد وبعض مياه الصرف من العمليات الأخرى، يتم ترشيحها فى مرشح متعدد الوسط الترشيحى.
- المعالجة البيولوجية أساسية لكثر من مكونات مياه الصرف من مصنع الكوك، فرن الحديد، ورش الدرفلة. تجرى المعالجة البيولوجيه فى أحواض التهوية (Aerated Lagoons) أو فى المرشحات البيولوجية أو بالحمأة المنشطة.

ب- معالجة مياه صرف الطلاء المعدنى للمعادن بالترسيب الكهربى:

طرق المعالجة الرئيسية لمياه الصرف لهذه الصناعة، هى كالآتى:

- السيانيد: يتم ضبط الرقم الهيدروجينى عند ١١ (pH-11) باستخدام الصودا الكاوية ثم إضافة الكلور أو الهيبوكلوريت. التفاعل يتوقف على الوقت، ومرحلة التفاعل مع الكلور يجب أن تستمر لمدة ساعة على الأقل.
- محلول الكروم سداسى التكافؤ.. يفضل عدم خلطه مع أى مياه صرف أخرى، يتم ضبط الرقم الهيدروجينى عند ٣ (pH-3) يضاف ثانى أكسيد الكبريت أو الباى سلفيت (Bisulphite) لاختزال الكروم السداسى إلى الثلاثى.
- مياه الصرف التى تحتوى على المعادن الثقيلة والكروم الثلاثى (المختزل) بعد تدمير السيانيد، تعالج بترسيب المعادن الثقيلة بضبط الرقم الهيدروجينى عند ١٠ (pH-10) باستخدام محلول الصودا الكاوية أو لبن الجير $Ca(OH)_2$ عندئذ تتحول المعادن الثقيلة المذابة إلى الإيدروكسيد أو الأكسيد غير المذاب والذى يمكن ترسيبه.

- يتم فصل المواد الصلبة العالقة من المحلول بالترسيب فى أحواض، تعمل بالدفعة الواحدة (Batch)، أو فى أحواض الترسيب المستمر. يمكن إضافة البولى إليكتروليت لتحسين عملية الترويب.
- يمكن فصل الرواسب والشحوم فى أحواض الدفعة الواحدة، أو فى أحواض ترسيب مستمرة، وذلك بكشطها كما يمكن تحسين عملية الطفو بالهواء لتحسين عملية الفصل.
- توجد طرق معالجة أخرى، وإن كانت غير مستخدمة على نطاق واسع، وهذه تشمل التبادل الأيونى لإزالة المعادن الثقيلة وإعادة استخدامها وخاصة بالنسبة للمعادن الثمينة.
- يمكن تدمير السيانيد باستخدام مخلوط من الفورمالين وثانى أكسيد اليدروجين، وهذه العملية لاتنتج مواد سامة.
- مشكلة معالجة مياه الصرف لهذه الصناعة صعبة؛ ذلك لأن المحاليل المطلوب معالجتها مخففة نسبيا، رغم أن خفض الحجم يمكن تحقيقه بإعادة استخدام المياه عدة مرات، وباستخدام عدة أحواض للغسيل. فى الحوض الأول يستخدم الغسيل الأولى للقطعة، والحوض الثانى للغسيل مرة ثانية. مياه الغسيل فى الحوض الأول تستخدم لزيادة المياه فى حمام الطلاء المعدنى؛ نظرا لتركيزها، مياه الحوض الثانى تكون مخففة جدا يما يمكن من استخدامها فى الحوض الأول. الغسيل برش المياه يمكن أن يقلل من حجم مياه الغسيل؛ حيث تستخدم فقط كمية المياه المطلوبة، والتى يمكن إعادة استخدامها فى حوض الطلاء.
- تكنولوجيا معالجة مياه الصرف من الطلاء المعدنى، تشمل: تدمير السيانيد، اختزال الكروم السداسى، ترسيب المعادن الثقيلة، ثم إزالة المواد الصلبة العالقة.

جـ- معالجة مياه صرف تكرير البترول:

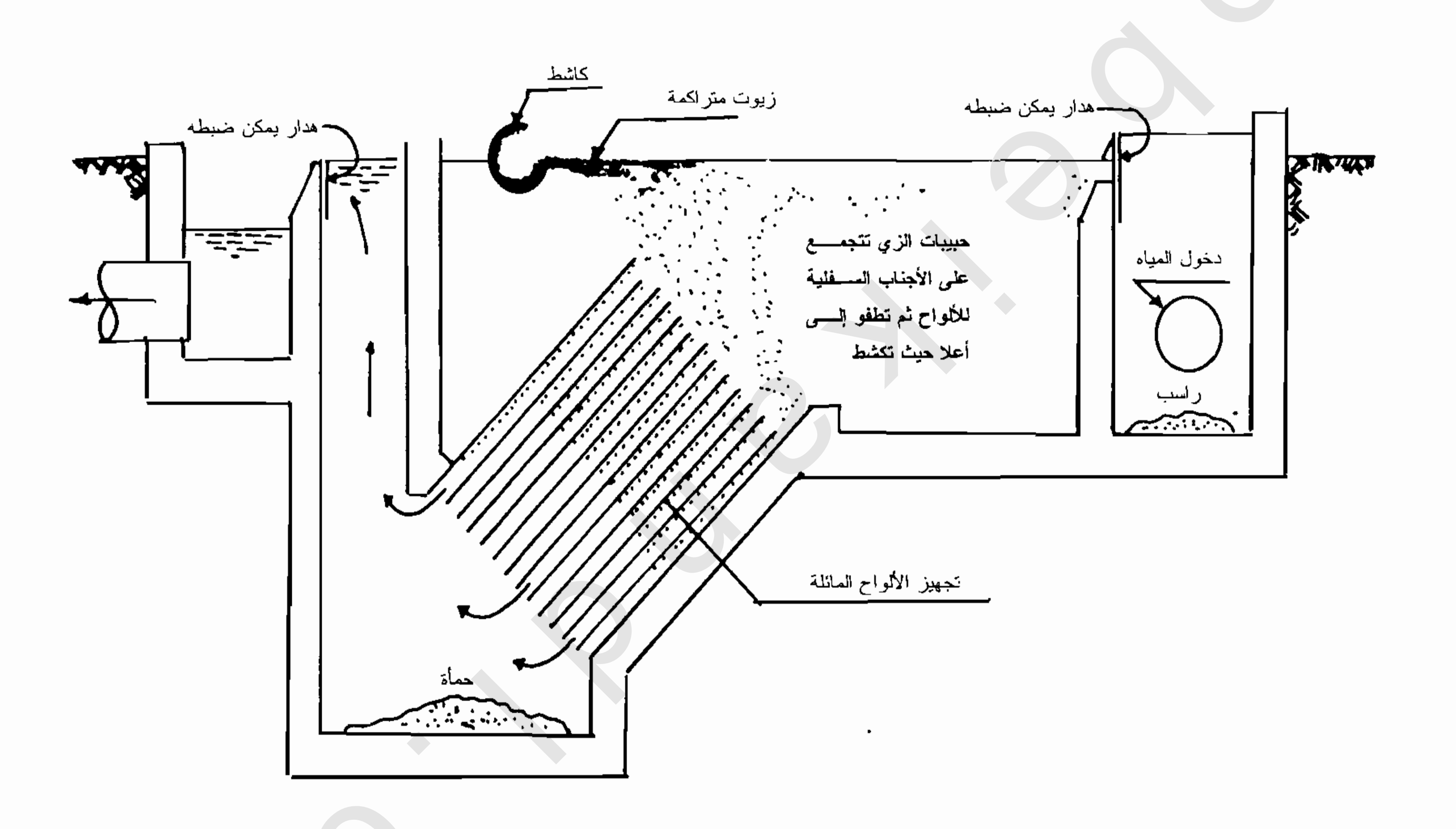
(١) إزالة الأملاح من الزيت الخام:

فى موقع بئر الإنتاج، يكون الزيت الخام مخلوطا بالمياه المالحة. حتى بعد الفصل فى الموقع، فإن الزيت الخام الذى ينقل إلى موقع التكرير، يحتوى على أملاح أكثر مما هو مناسب مع معدات التقطير، وهذا يتم إزالته بمياه الغسيل فى وحدة إزالة الأملاح (Desalter). مياه الغسيل هذه تكون ملوثة بالأملاح المذابة والزيت، وكميات صغيرة من مواد أخرى.

(٢) معالجة مياه الصرف من مصانع تكرير البترول:

توجد تقنيات كثيرة متاحة للاستخدام بمصانع تكرير البترول، ولكن المعدة العالمية الأساسية هى فصل الزيت بالجاذبية، والموصفة بالتفصيل فى جهاز فصل الزيت بالجاذبية بواسطة معهد البترول الأمريكى (API Separator) هذه الأجهزة تزيل الجزء الكبير من الزيت الطافى فى مياه صرف تكرير البترول، رغم أنها لا تعمل على تكسير المستحلب ولا تزيل المواد المذابة، حيث إن تأثيرها يعتمد على درجة الحرارة وكثافة الزيت وحجم نقاط الزيت ووجود مواد عالقة أخرى. جهاز الفصل بالألواح المتوازنة (٤/١) هو نوع آخر (Parallel Plate Separator)، والذى يستخدم كذلك للغرض نفسه.

تحتوى المياه الخارجة من جهاز فصل الزيت بالجاذبية على ٥-٣٥ ملجرام/لتر من الزيت المتبقى، ويكون أساسا فى شكل مستحلب.



شكل (٤/١) جهاز مطور لفصل الأجسام العالقة والطافية بالأسطح المائلة

بعض تكنولوجيات فصل الزيت، والتى تعتبر مؤثرة فى خفض المواد الصلبة العالقة، وما تحمله من ملوثات تشمل الطفو بالهواء والمرشحات باستخدام الرخام كوسط ترشيحى. الأول واسع الانتشار فى الاستخدام وعادة يدعم بإضافة كمياويات للمساعدة فى الترويب مثل أملاح الألومنيوم والحديد زائد البولى إليكتروليت العضوى. يستخدم الطفو عادة يليه الفصل بالجاذبية لتحقيق التنقية الإضافية، تستخدم المرشحات عادة قرب نهاية مراحل التقنية؛ حيث تلى عملية الحمأة المنشطة أو أى معالجة بيولوجية أو كيماوية أخرى.

المعالجة البيولوجية بالحمأه المنشطة يمكنها إزالة من ٨٠ إلى ٩٠% من الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD_5) والزيت، رغم أن التفاعلات أبطأ من مياه الصرف الصحى. يلزم زيادة تركيز المواد العالقة فى السائل المخلوط (Mixed Liquor) حيث يكون من ١٥٠٠ إلى ٣٠٠٠ ملجرام/لتر يكون زمن المكوث أطول. المرشحات الزلطية وأحواض التهوية أو برك الأكسدة تستخدم كذلك فى المعالجة البيولوجية لمياه صرف تكرير البترول.

يتم تكسير مستحلب الزيت مع المعالجة البيولوجية النهائية لمياه الصرف. فى بعض الحالات تكون الإضافات الكيماويات أكثر ملاءمة؛ حيث إنها تسمح باستعادة مشتقات بترولية معينة عند المصدر. المعالجة بالحامض عادية رغم استخدام كيماويات أخرى، والتى تكون مفضلة فى عمليات معينة. التسخين رغم ارتفاع تكلفته، فإنه يستخدم للمشتقات ذات درجة الغليان المرتفعة فى الخزانات المجهزة بمواسير بخار (Steam Coils).

د-معالجة مياه الصرف من الصناعات الورقية:

للحد من أحمال مياه الصرف يتم التدوير وإعادة الاستخدام مع استعادة الشعيرات، بالإضافة إلى خفض التسرب من الطلمبات، وخفض استخدام

مياه التبريد والمياه النقية، وهذه الاجراءات تتم داخل المصنع. بالنسبة لمعالجة مياه الصرف الخارجة من المصنع، فتتم باستخدام المصافى المروقات الميكانيكية، أحواض الترسيب، الطفو بالهواء المذاب. أكثر الطرق استخداما هى أحواض الترسيب الميكانيكية للتنظيف ذات قطر من ٣٠ إلى ٣٥٠ قدما مربعا، معدل تحميل سطحى من ٣٩٠ إلى ٢٠٠٠ جالون – القدم المربع فى اليوم. زمن المكوث ٤ ساعات. التصميم الجيد والتشغيل الجيد لأحواض الترسيب الميكانيكية (المروقات) يزيل ٩٥% من المواد الصلبة العالقة القابلة للترسيب، ٢٠-٣٠% من الأكسجين الحيوى المطلوب (BOD_5) كما يمكن عمل خفض إضافى فى الأكسجين المطلوب بالمعالجة البيولوجية فى أحواض أكسدة ضخمة وأحواض تهوية وتثبيت، ولكن الحمأة المنشطة والمرسخات الزلطية أقل.

أحواض التثبيت المهواة تستخدم هكتار/مليون جالون فى اليوم وزمن مكث ٥-١٥ يوما، يلزم إضافة النيتروجين وأحيانا الفوسفور، أجهزة تهوية تربينية أو أجهزة البثق الهوائى، والتى تعمل عند ٥٠-٢٠٠ ملجرام/لتر من السائل المخلوط بالمواد الصلبة العالق (MLSS)، من المشاكلات الكبيرة هى تخفيف الحمأة من الماء والتخلص منها؛ حيث يمكن أن تكون أكثر تكلفة من المعالجة نفسها. استخدمت عمليات تخلص أخرى لمياه الصرف الصناعى للورق، ولب الورق هى صرف المخلفات على الأرض لتحسين التربة وللرى، وكذلك إزالة اللون بالترسيب بالجير والكربون المنشط.

أفضل تكنولوجيا هى التحكم الداخلى بخفض الملوثات زائد خفض المواد الصلبة باستخدام المصافى، أحواض أرضية للترسيب، الترويق الميكانيكى وإزالة الحمأة، الطفو بالهواء المذاب. يتم خفض الأكسجين

المطلوب باستخدام الحمأة المنشطة، أحواض تثبيت هوائـــى، أحــواض أكسدة طبيعية بعد المعالجة البيولجية.

هـ-معالجة مياه الصرف من صناعة المنسوجات:

تستخدم صناعة المنسوجات كميات كبيرة من المياه حوالى ٩٠% منـــها فى عمليات الغسيل والتنظيف والصقل والصباغة والطباعة والتبييـــض والتشطيب.. كل هذه العمليات تنتج مياه صرف تحتاج إلـــى المعالجـــة. توجد ثلاثة أنواع رئيسية من المنسوجات، وهـــى: الصـــوف، القطـــن، الخيوط الصناعية. خطوات التصنيع لمختلف المنسوجات متشابهة، ولكن أحمال التلوث مختلفة.

يتم استعادة شحوم الصوف بإضافة حامض إلى شحنة الصوف لتكســير المستحلب وتحرير الشحوم. بعد استخلاص الشحوم بالطرد المركزى يتم التخلص من المجال المائى، أو بالتبخير لاستعادة الشحوم.

تستخدم المصافى لإزالة المواد من الشعيرات. المصافى يمكن أن تكـون دوراة أو ثابتة أو هزازة، وكذلك يمكن استخدام المصافى الثابتـــة. ثـم تستخدم تجهيزات الترسيب بأحواض الترسيب؛ حيث يمكن أن يضـــاف البولى إليكتروليت لتحسين فصل المواد الصلبة العالقة عادة بالتوازى مع البولى إليكتروليت أو بعد عملية الترويب. الفصـــل باســـتخدام الـــهواء المضغوط يزيل المواد الصلبة، الزيوت، الشحوم، الشـــعيرات، ولكـــن لايزيل المواد المذابة مثل الصبغات.

عملية الطرد المركزى والترشيح هى عمليات قياسية، تســتخدم لإزالـــة واستعادة المواد الصلبة من مياه صرف الصناعـــات النسـيجية. عـــادة تضاف مواد كيماوية مثل كبريتات الحديدوز، الجير المطفى أو الشـــبه إلى مياه الصرف؛ لتكوين الزغبات صغيرة الحجم وترويبـــها، وكذلـــك المواد الهلاميه كبيرة لتحسين فصل المواد الصلبة العالقة.

يتم الترسيب الكيماوى للمواد المذابة فى أحواض الترسيب (Lagoons)؛ حيث تضاف الكيماويات إلى مياه الصرف لترسيب المواد المذابة.

أحيانا تكون مياه الصرف من صناعة المنسوجات قلوية، وذلك رغم وجود بعض تدفقات مياه صرف حامضية. لذلك يكون من الضرورى عمل عملية التعادل بإضافة مواد حامضية أو قلوية لحماية عمليات المعالجة التالية، ولتتطابق مع معايير الصرف. عملية التسوية (Equalization) هى كذلك ضرورية لتسوية الأحمال الهيدروليكية والأحمال العضوية.

استخدم الادمصاص بالكربون المنشط لإزالة اللون. الأكسدة البيولوجية هى آخر مراحل المعالجة، والتى يمكن أن تتم فى المصنع، وعادة يتم صرف المياه إلى محطة معالجة الصرف الصحى.

لإزالة الصبغات تستخدم الأكسدة الكيماوية بالكلور، مع الهواء وكذلك لقتل الكائنات الدقيقة.

ولقد أوصت وكالة حماية البيئة أن مياه صرف صناعة الغسيل يمكن أن تعالج بالمعالجة الأولية والثنائية لمياه الصرف، كما أوصت أنه يمكن أن يكون الصرف صفرا، وذلك بخفض كمية المياه المستخدمة خلال التدوير، واستخدام المعالجة البيولوجية.

و-دباغة الجلود:

دباغة الجلود هى عملية تحويل جلد الحيوان إلى جلود مصنعة، بمعالجة الشعيرات البروتينية بمواد مثل أملاح الكروم أو الشبه أو التانين (Tannin).

تشمل طرق خفض مياه الصرف لعمليات الدباغة الاقتصاد فى استخدامات المياه، واستعادة المحاليل لاستخدامها، ومعالجة مكونات معينة فى مياه الصرف.

مخلفات الصرف من دباغة الجلود، تتم لها المعالجة السبقة لزيادة توافقها للصرف على محطات المعالجة لمياه الصرف الصحى. تتكون عمليات المعالجة المسبقة من واحد أو أكثر من عمليات متعددة أو منها جميعا. وهذه تشمل استخدام المصافى، التسوية للتدفقات، الترسيب الحر، الترسيب باستخدام الشبه، الجير، أملاح الحديد، البلمرات، الكربنة، ضبط الرقم الهيدروجينى والتخلص من الحمأة.

استخدام المصافى الدقيقة يزيل الأجسام الدقيقة من الشعر، الصوف، اللحم، قطع الجلود الصغيرة الناتجة عن التهذيب. وتتطلب تسوية التدفقات وضبط الرقم الهيدروجينى زمن مكوث عادة أقل من يوم واحد.

يقلل الترسيب الحر من المواد الصلبة العالقة بتركيز من ٤٠-٩٠%، الأكسجين المطلوب بنسبة ٣٠-٦٠%، الكروم الكلى بنسبة ٥٣%، القلوية الكلية (مقيمة ككربونات كالسيوم) بحوالى ٢٧%، الدهون بنسبة ٩٠%. يمكن أن تؤثر المعالجة الكيماوية فى إزالة المواد الصلبة العالقة بنسبة من ٥٠% إلى أكثر من ٩٥%، إزالة السلفيد (Sulphides) والكروم بنسبة حتى ٩٠%، إزالة اللون بنسبة ٩٣-٩٩%.

تستخدم الكربنة لمعالجة مياه الصرف القلوية، ويمكن أن تزيل المواد الصلبة بنسبة ٩٥%، الأكسجين الحيوى بنسبة ٨٠%، إزالة القلوية الزائدة.

تداول الحمأة والتخلص منها يشمل أحواض الحمأة، الحفر لدفن المخلفات، النشر على سطح الأرض. المعالجة الثنائية المستخدمة لمعالجة مياه الصرف من دباغة الجلود تشمل نظم المرشحات الزلطية، حيث تزال من ٨٠-٩٥% من الأكسجين الحيوى، أحواض التهوية يمكنها إزالة ٩٢% من (BOD)، ٦٤% من (COD)، ٧٥% من النتروجين، التدمير الكامل للكبريتيد.

نظام الأحواض اللاهوائية يحقق إزالة ٨٧% من (BOD)، ٧٤% من المواد الصلبة العالقة، ٦٨% من (COD) ٢٤% من السلفيد، ٣٣% من النيتروجين الكلى. محطات الحمأه المنشطة لمعالجة مياه الصرف من دباغة الجلود هى مصدر إزعاج يسبب متاعب التشغيل.

لقد أوصت وكالة حماية البيئة الدولية أن أفضل تقنية هى المعالجة المسبقة باستخدام المحافظة على الماء، التدوير لمحاليل الدباغة، تجميع وأكسدة السلفيد، المصافى الدقيقة، التسوية الترسيب الأولى لإزالة الزيوت والشحوم وترسيب الكروم، ضبط الرقم الهيدروجينى، تداول الحمأة والتخلص منها. المعالجة الكاملة فى الموقع تستخدم كل ما سبق زائد التهوية والترسيب والترشيح بالوسط العميق بالمواد المختلطة والكلور والصرف على المسطح المائى. كما أضيفت التهوية لنترجة (Nitrify) المواد العضوية ونيتروجين الأمونيا.

<u>ز-الصناعات الكيماوية:</u>

الصناعات الكيماوية شديدة التعقيد، وهى تتكون من المواد العضوية والمواد غير العضوية، وذلك رغم وجود تطابق بينهما. الصناعات الكيماوية هى من أكبر الصناعات المستخدمة للمياه، حيث يستخدم حوالى ٦٥% من المياه فى عمليات التبريد، والباقى يستخدم فى إعداد المنتجات. تستخدم المياه للإذابة، كعامل للنقل (بما فيه البخار)، للتبريد بالالتصاق المباشر، ونظافة المعدات.

تتراوح مياه صرف الصناعات الكيماوية ما بين غير الضارة إلى الشديدة السمية، وتشمل معالجة مياه الصرف العمليات الآتية:

- المعالجة فى المصنع لاستعادة المواد الثمينة، واعادة استخدام المياه والمادة فى الإنتاج.
- فصل الزيت عن الماء بالطفو بالمواد المذاب، باستخدام جهاز فصل الزيت (API).
- فصل المواد الصلبة بالترويب والترسيب والترشيح.

- التعادل فى حالة وجود المياه حامضية أو قلوية أو كليهما.
- التسوية (Equalization) وهى ضرورية أحيانا لتسوية التدفقات المختلفة مثل عمليات التعادل أو المعالجة البيولوجية.
- المعالجة البيولوجية: وهى أساسية كخطوة تلميع لمياه صرف الصناعات العضوية. تستخدم الأحواض المهواة، إحدى صور الحمأة المنشطة، أو المرشحات البيولوجية.
- الأكسدة: باستخدام الكلور معالجة المخلفات الدوائية وإزالة المذاق والرائحة الكيماوية فى كثير من الصناعات. الأوزون أكثر تأثيرا أحيانا، ولكن استخدامه محدود نظرا للتكلفة العالية.
- من الممكن الوصول إلى معدل صرف لمياه الصرف الصناعى ليكون صفرا، وذلك بتطوير تكنولوجيا الصناعات الكيماوية؛ حيث تشمل فصل المخلفات من كل عملية ومن مياه التبريد، وتدوير المياه، وفصل السوائل من المواد.

ح-معالجة مياه صرف صناعة المعليات الغذائية:

الصناعات الغذائية هى صناعات موسمية. تتكون مياه الصرف أساسا من مياه الغسيل المحملة بمواد التربة والأوراق النباتية وقطع من المنتجات والخامات، ومياه التبريد.. إلخ. مخاطر مياه الصرف هو نتيجة التحلل للمواد الصلبة العضوية العالقة. تحتوى مياه الصرف على مواد عالقة ومواد هلامية ومواد عضوية مذابة، وبها حمل عضوى من ٣٠٠ إلى ٤٠٠٠ (BOD_5).

عند صرف هذه المياه إلى المجارى المائية، فإنها تسبب رائحة كريهة، وخفضا فى الأكسجين المذاب، وتغيرا فى الرقم الهيدروجينى. وتشمل عمليات المعالجة استخدام المصافى، الترسيب الكيماوى، المعالجة البيولوجية فى برك الأكسدة، استخدام المياه فى الرى، المواد الصلبة يمكن استخدامها فى غذاء الحيوان. تكون المصافى المستخدمة ذات

فتحات ١,٥ مليمتر. يستخدم الترسيب الكيماوى على نطاق واسع لمعالجة مياه الصرف؛ حيث يستخدم كلوريد الحديدك، وكبريتات الحديدوز، والشبه، وكلوريد الزنك. قبل الترسيب يتم ضبط الرقم الهيدروجينى عند (١٠) بإضافة لبن الجير، ويتم إضافة المروب على مراحل مع الخلط الجيد. فى حالة مخلفات الطماطم، يتم المعالجة باستخدام ٣٠٠ جزء فى المليون من الجير المطفى، يليه ٨٠٠ جزء فى المليون من كبريتات الحديدوز. ينخفض الحمل العضوى بنسبة ٣٥%. وفى هذه العملية يلزم ٢٠ دقيقة لتغذية الكيماويات والخلط والتزغيب، ساعتين للترسيب، ١,٥ ساعة لسحب الحمأة على طبقة من الرمال، وصرف المياه المعالجة. تستخدم بحيرات الأكسدة أو تستخدم المياه فى الرى، ويلزم استخدام المصافى والترسيب السريع قبل الترشيحى.

ط-معالجة مياه الصرف من الصناعات الدوائية:

تحتوى المستحضرات الدوائية عادة على مواد غذائية، مخلفات عضوية من عمليات التخمير، مذيبات، عوامل تثبيط الرغاوى ومركبات عضوية ذات درجات مختلفة من القابلية للتحليل البيولوجى، ومن السمية فى ميله الصرف. مياه الصرف من إنتاج البنسلين والإستربتوميسين ومستحضرات طبية أخرى بها نسبة عالية من المواد الصلبة العالقة، المواد العضوية المذابة وأحمال عضوية عالية. عند صرف هذه المياه على المجارى المائية، فإنها تسبب عكارة ومذاقًا ورائحة وخفضًا فى الأكسجين المذاب فى الماء. يمكن معالجة هذه المياه فى محطات معالجة مياه الصرف الصحى. وفى حالة عدم إمكان ذلك، فإنه يمكن المعالجة بالتهوية ثم المعالجة بالمرشحات البيولوجية. من المفضل معالجة مياه الصرف هذه فى برك الأكسدة الميكانيكية؛ نظرًا لأن التهوية هى أفضل الطرق. حفر الأكسدة تعمل على خفض المواد الصلبة العالقة والخفض للحمل العضوى إلى ٣٠٠ ملجرام/لتر، بما يمكن صرف هذه المياه على شبكة الصرف الصحى. فى بعض الحالات يمكن معالجة هذه المياه فى المرشحات الزلطية.

ى-معالجة مخلفات المنتجات الإشعاعية:

مخلفات المنتجات الاشـــعاعية تكـون مـن المستشـفيات، المعـامل، المفاعلات، مياه التبريد لمحطات إنتاج الطاقة النووية. المخلفـات ذات طبيعة حامضية وساخنة. وفى حالة صرف هذه المخلفات مباشرة إلـى المجارى المائية، فإنها تتلف الأنسجة الحية، عدسات العين، الدم، الجلد.. إلخ. بعض المواد فى هذه المخلفات ذات طبيعة حيث تحللها سريع جدًا، بحيث تصبح غير ضارة فى وقت قصير. ولكن بعض المواد تسـتغرق سنين، قبل أن تصبح آمنة. طرق المعالجة والتخلص للمخلفات المشـعة تشمل التركيز (لخفض الأحجام) والتخزين لمدة طويلة (لتوفير التحلـل السريع لمخلفات المفاعل)، والتخفيف فى المياه السطحية (كما فى حالـة المخلفات المعملية)، الدفن فى التربة.

يمكن كذلك تركيز هذه الملوثات بالتركيز، الترويب مع الترسيب، التبادل الأيونى، الفصل الكهروكيميائى وطرق أخرى.. إلخ. التخلص بـالتخفيف غير آمن نظرًا لاستهلاكه لأحجام ضخمة من المياه. المخلفات المشـعة ذات أكثر من ١٠٠ ميكروكورى فى اللتر لا يسمح بصرفها فى شـبكات الصرف.

الجدول الآتى يوضح خواص بعض المواد المشعة.

المادة المشعة Isotopes	نصف العمر	أجزاء الجسم التى تتأثر	أقصى تركيز مسموح به ميكروكورى/سم^{٣}
Iodine I^{131}	٨ أيام	الغدة الدرقية	٣ × ١٠$^{-٥}$
Strontium Sr^{89}	٥٣ يومًا	العظام	٧ × ١٠$^{-٥}$
Sesium Cs^{137}	٣٣ يومًا	العضلات	١,٥ × ١٠$^{-٣}$
Uranuim U^{238}	٤,٥ × ١٠^{٩} سنة	العظام	٨ × ١٠$^{-٥}$
Raduim Ra^{226}	١,٦ × ١٠^{٣} عام	العظام	٤ × ١٠$^{-٨}$
Strontium Sr^{90}	٢٥ عامًا	العظام	٨ × ١٠$^{-٧}$
Phosphorus P^{32}	١٤ يومًا	العظام	٢ × ١٠$^{-٤}$
Soduim Na^{24}	١٥ ساعة	كل الجسم	٨ × ١٠$^{-٣}$

الفصل الخامس

المعالجات الخاصة للمياه واستعمالاتها

أولاً: معالجة عسر المياه:

عسر المياه يكون بسبب وجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم فـي شـكل عسر مؤقت أو عسر مستديم. العسر المؤقت هو أمـلاح البيكربونـات للكالسيوم والمغنسيوم. العسر المستديم هو أملاح الكبريتات والكلوريدات والنترات بالإضافة إلى كربونات المغنسيوم. من مسببات العسر أيضًـا أملاح الحديد والمنجنيز والكالسيوم والاسترنشيوم، فى حالة وجودها فـى الماء كعسر مؤقت أو مستديم.

عسر المياه غير مرغوب فى مياه الشرب، فى حالة زيادتـه عـن ٨٥ جزءًا فى المليون (مقيم ككربونات كالسيوم)؛ وذلـك طبقًـا للمعـايير الخاصة بمياه الشرب. بعض الصناعات تحتاج إلى مياه منخفضة العسر حيث يسبب العسر مشاكلات فى العملية الإنتاجيـة. عمليـات الغسـيل والنظافة بالمياه العسر تستهلك كميات كبيرة من الصابون حتى تحـدث رغوة الصابون. المياه العسرة تسبب ترسيبات صلبـة (Hard Scales)، التى ترسب على السطح المعدنى الملاصق للماء فـى الغلايـات، بمـا يسبب زيادة فى استهلاك الوقود اللازم لإنتاج البخـار بسـبب العـزل الحرارى، الذى تسببه هذه الترسيبات، هذا بالإضافة إلى ما يسببه مـن خطورة على معدن الغلاية (بسبب اختلاف درجات الحرارة بين السـطح

المغطى بالترسيبات وغير المغطى). تتداخل المياه العسر بشدة مع أعمال الصباغة والتجهيز ودباغة الجلود وصناعة الورق ولب الورق والصناعات الغذائية، مثل: المعلبات والمشروبات الغازية. الماء العسر يسبب الانسداد فى المواسير بسبب ترسيبات أملاح العسر وتراكمها.

تعاريف:

القلوية الكلية: تشمل قلوية كل من بيكربونات الكالسيوم، بيكربونات المغنسيوم، بيكربونات الصوديم.

قلوية العسر: بيكربونات كالسيوم، بيكربونات مغنسيوم.

عسر الكربونات: بيكربونات كالسيوم، بيكربونات مغنسيوم.

عسر الغير كربونات: كبريتات وكلوريدات ونترات كالسيوم ومغنسيوم (ويضاف لها كربونات المغنسيوم، التى تذوب فى الماء).

يلزم التعرف على الملوثات فى المياه لإمكان معالجتها؛ لتكون مطابقة لمتطلبات العملية الصناعية. كثير من الصناعات يحتاج إلى خفض قلوية الكالسيوم إلى ٣٥ جزءًا فى المليون. تحتاج المياه الغازية إلى خفض القلوية إلى ٥٠ جزءًا فى المليون، وفى حالات أخرى يكون من الضرورى الوصول إلى درجة عالية من إزالة العسر. مياه الشرب تعتبر مناسبة فى عمليات صناعية كثيرة (مثل الصناعات الغذائية) عدا فى حالة استخدامها فى تغذية الغلايات. فى بعض الحالات تكون مياه الشرب مفضله بسبب عسرها الطبيعى، كما فى حالة صناعة المخبوزات والبيرة. ولكن كميات صغيرة من الحديد والمنجنيز والكالسيوم يمكن أن تسبب مشكلات كثيرة فى صناعة الورقة.

الجدول (١) يوضح نوعية المياه المستخدمة فى بعض الصناعات:

جدول (١): أنواع المياه المستخدمة فى بعض الصناعات.

الصناعة	العسر ملجرام/لتر	القلوية ملجرام/لتر	حديد ومنجنيز ملجرام/لتر	الأملاح المذابة ملجرام/لتر	خواص أخرى
المخبوزات	مطلوب بعضه	-	٠,٢		أ
البيرة	-	١٥٠-٧٥	٠,١	١٠٠٠-٥٠٠	أ، ب
المعلبات	١٥٠-٧٥	١٥٠-٧٥	٠,٢	-	أ
الحلويات	-	-	٠,٢	١٠٠	أ
الثلج	٥	٥٠-٣٠	٠,٢	٣٠	أ، د
الجلود	١٣٥-١٥	١٣٥	٠,١	-	
الورق	٥٠	-	٠,١٠	٥٠٠	د
لب الورق	١٨٠-١٠	-	١,٠٠-٠,١	٣٠٠-٢٠٠	هـ
صباغة ومنسوجات	٢٠	-	٠,٥	-	
البلاستك	-	-	٠,٠٢	٠,٠٢	

أ - مرغوب فيه بعض العسر

ب- كلوريد الصوديوم لا يزيد عن ٢٧٥ ملجرام/لتر

جـ- أكسيد الكالسيوم لا يزيد عن ١٠ملجرام/لتر، بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم تسبب مشكلات.

د-المياه لا تحتوى على عكارة.

هـ-المياه غير عدوانية.

١- الطرق الكيماوية لخفض عسر المياه:

أ- تحويل البيكربونات إلى الكربونات (إزالة العسر المؤقت):

(١) غلى الماء يحول أملاح البيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم (العسر المؤقت) إلى كربونات الكالسيوم، التى لا تذوب فى الماء وترسب، وكربونات المغنيسوم التى تذوب ولاترسب فى الماء كالآتى:

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

(٢) وفى حالة الرغبة فى إزالة العسر المؤقت من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم، فإنه يلزم استخدام لبن الجير $Ca(OH)_2$ لمعالجة المياه

المحتوية على العسر المؤقت من بيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم طبقا للمعادلات الآتية:

$$Mg(HCo3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCo3 \downarrow + H_2O$$

$$Ca(HCo3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2\ CaCo3 \downarrow + 2\ H_2O$$

كلا من كربونات الكالسيوم وإيدروكسيد المغنسيوم لا يذوبان فى الماء؛ حيث يمكن إزالتهما بالترسيب تستخدم هذه الطريقة لإزالة العسر المؤقت فقط.

٢- الطرق الكيماوية لإزالة العسر (طريقة الجير الصودا آش):

المياه المحتوية على الكيماويات المسببه للعسر يمكن إزالة عسرها المؤقت والمستديم، باستخدام مجموعة من الكيماويات، وذلك للمياه المعالجة بالمرشحات أو المياه الجوفية.

<u>وهذه الكيماويات هى:</u>

- مادة الترويب من كبريتات الألومينوم (الشبه) أو كبريتات الحديدوز أو كبريتات الحديديك أو كلوريد الحديديك.
- لبن الجير $Ca(OH)_2$ يستخدم بدرجة نقاء ٩٣% على البارد باستخدام الجير الحى

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

- الصودا آسن ($Na\ CO_3$): وهى تستخدم طبقا للمواصفات ٥٩% أكسيد صوديوم Na_2O المكافئ لــ ٩٩,٢% كربونات صوديوم.
- كلوريد الكالسيوم ($Ca\ Cl_2$): وهو مطلوب فى حالة زيادة القلوية عن العسر فى الماء. كل من هذه الكيماويات له دور معين بمجرد إضافته للماء وخلطه جيدا، مع إعطاء الوقت الكافى للتفاعل، ولذلك فإنه يلزم تحديد الجرعة المطلوبة بدقة من نتائج التحاليل المعملية للمياه.

من المهم معرفة أن أيون البيكربونات (HCO_3) يميل إلى الاتحاد مع الكالسيوم أولا ثم مع المغنسيوم ثانيا؛ لذلك عند إضافة لبن الجير فإنه يتفاعل أولا مع الكالسيوم، ومع استمرار إضافة لبن الجير، فإنه يتفاعل مع المغنسيوم.. لذلك فإن القلوية تقدر أولاً على أنها متعلقة بقلوية الكالسيوم وتسمى قلوية الكالسيوم. وفى حالة وجود قلوية متبقية، فإنها تحسب على أنها متعلقة بالمغنسيوم، وتسمى قلوية المغنسيوم. وفى حالات قليلة من المياه الطبيعية قد توجد زيادة فى القلوية عن قلوية الكالسيوم والمغنسيوم؛ حيث تحسب فى هذه الحالة على أنها متعلقة بالصوديوم، وتسمى قلوية الصوديوم. فى حالة وجود قلوية أقل من إجمالى قلوية الكالسيوم والمغنسيوم الموجودة فى الماء، عندئذ فإن كمية العسر الزائد عن القلوية تسمى عسر غير الكربونات (Non Carbonate Hardness). عسر غير الكربونات يعنى عمومًا العسر المرتبط بأيونات الكلوريد والكبريتات والنترات.

التفاعلات الكيماوية:

أ–لبن الجير $Ca(OH)_2$

يتفاعل لبن الجير للترسيب الكيماوى للعسر المؤقت (عسر الكربونات) فى الماء مكونًا كربونات الكالسيوم، التى ترسب (غير مذابة) وأيدروكسيد المغنسيوم غير المذاب. الجرعة المطلوبة تتوقف على قلوية الماء. يتفاعل لبن الجير أولاً مع ثانى أكسيد الكربون (CO_2) الموجود فى الماء، ثم مع أيون البيكربونات (HCO_3) طبقًا للمعادلات الآتية:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2\,Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow + 2\,H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$$

يلاحظ أنه مطلوب ضعف لبن الجير لترسيب المغنسيوم عن المطلوب لترسيب الكالسيوم.

ب-الصودا آش (Na_2CO_3)

تتفاعل الصودا آش مع عسر غير الكربونات للحصول على أملاح غير مذابة. مكافئ واحد من عسر غير الكربونات للكالسيوم تحتاج إلى مكافئ واحد من الصودا آش:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$$

$$CaCL_2 + Ca_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + 2\,NaCL$$

مكافئ واحد من عسر غير الكربونات للمغنسيوم يحتاج إلى مكافئ واحد من اصودا آش بالإضافة إلى مكافئ واحد من لبن الجير:

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg\,(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow + NaSO_4 + 2NaCL$$

$$MgCL_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow + Na_2SO_4 + 2NaCL$$

جـ- كلوريد الكالسيوم ($CaCL_2$):

نظرا لأن كلا من كربونات المغنسيوم وكربونات الصوديوم يذوبان في الماء، ولا يرسبان بلين الجير أو الصودا آش، ألا أنهم يتفاعلان مع كلوريد الكالسيوم كالآتى:

$$MgCO_3 + CaCL_2 \rightarrow Mgcl_2 + CaCO_3 \downarrow$$

$$Na_2CO_3 + CaCL_2 \rightarrow 2\,NaCL + CaCO_3 \downarrow$$

(قد تستخدم هذه الطريقة لخفض القلوية فى الماء إلى حد معين طبقًا للاستخدام المتقبلى للمياه)، وفى حالة زيادة قلوية المغنسيوم عن عسر المغنسيوم ٤٠ جزءًا فى المليون. عمومًا فى المياه الطبيعية لاتوجد قلوية الصوديوم إلا فى حالة وجود قلوية المغنسيوم. يلاحظ أنه عند خفض قلوية كربونات المغنسيوم، لا يحدث انخفاض فى

العسر لوجود كلوريد المغنسيوم المتكون، والذى يحتاج إلى مكافئ إضافى من الصود آش ولبن الجير.

$$MgCL_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + Mg(OH)_2 + 2\ NaCL$$

د-المروب:

عند ترسيب أملاح العسر، فإنها تكون فى شكل أجسام عالقة صغيرة جدًّا (زغبات)، بما يتطلب جرعات صغيرة من المروب لعمل التزغيب والترويب.

الجرعات المطلوبة هى:

فى حالة الشبة (كبريتات الألومنيوم) أو كبريتات الحديدوز ٢٠ ملجرام/لتر

فى حالة استخدام كلوريد الحديديك ١٠ ملجرام/لتر

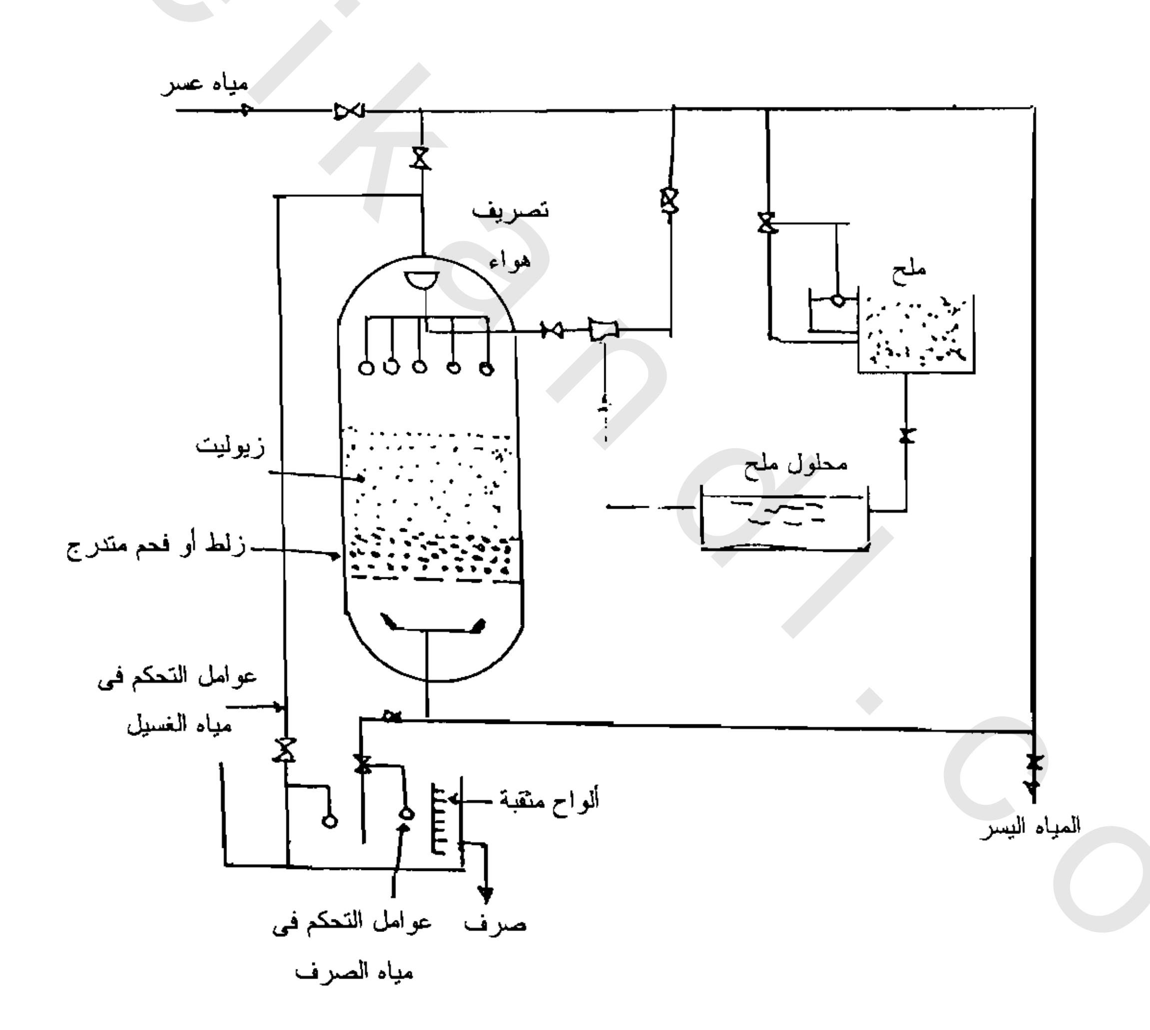
عند تفاعل المروب مع القلوية الموجودة فى الماء، تتكون زغبات جيلاتينيه تنمو فى الحجم حتى ترسب، وهذه الزغبات لها القدرة على جذب وادمصاص الأجسام العالقة فى الماء وعزلها. عمومًا عند استخدام طريقة الجير الصودا آش لإزالة العسر المؤقت والمستديم، فإن ذلك يتم بإضافة لبن الجير $Ca(OH)_2$ أولاً ليتكون راسب غير مذاب من كربونات الكالسيوم وإيدروكسيد المغنسيوم؛ حيث يتم التخلص من الراسب. العسر الذى لا يزال بلبن الجير فقط يتم إزالته بالصودا آش.

يضاف لبن الجير والصودا آش إما منفصلين أو مع بعضهما مع الخلط الجيد مع الماء. الوحدات المستخدمة لإزالة عسر المياه بطريقة الجير-الصودا آش تشبه تلك المستخدمة فى الترويب الكيماوى لمياه الشرب، حيث تمر المياه بعد الخلط بلبن الجير والصودا آش ليضاف لها المروب، ثم إلى أحواض الترسيب. للحصول على نتائج جيدة يكون زمن المكوث من ٣-٤ ساعة. تمر المياه بعد مرورها فى أحواض إزالة العسر والترسيب خلال وحدة إعادة الكربنة (التغذية بثانى أكسيد الكربون) لضبط الرقم الهيدروجينى، ثم تمر المياه إلى مرشح سريع يعمل بالجاذبية.

٣- التبادل الأيونى لإزالة العسر (الزيوليت):

شكل (٥/١)

تسمى عملية التبادل الأيونى بالزيوليت. وتعتمد هذه الطريقة على قدرة مواد صلبة فى شكل حبيبات لا تذوب فى الماء (أساسًا السيليكات) فى التبادل الأيونى مع أيونات مواد أخرى مذابة فى الماء، وذلك عند مرور المياه خلال طبقة المبادل الأيونى (الزيوليت). يوجد نوعان من المبادلات الأيونية، وهما: المبادل الكاتأيونى والذى يزيل كاتأيونات العسر من الكالسيوم والمغنسيوم، ومبادلتها بكاتأيون الصوديوم، والمبادل الآن أيونى لمبادلة الآن أيونات من الكلوريدات والكربونات والكبريتات والنترات بأيون الهيدروجين.



شكل (٥/١): إزالة العسر بالزيوليت.

أ-إزالة العسر بالتبادل الكاتأيونى:

عند تمرير المياه العسر خلال طبقة من الزيوليت الكاتأيونى، يحدث تبادل لكاتأيون الكالسيوم والمغنيسوم للأملاح المذابة فى الماء بكاتأيون الصوديوم فى المبادل الكاتأيونى الصلب، وتصبح المياه خالية من العسر (يسر). الصوديوم فى حبيبات المبادل الكاتأيونى (الزيوليت) يستنفذ حيث يصير الزيوليت غير قادر على إزالة العسر من المياه. ولكن يمكن إعادة تنشيط الزيوليت بالتفاعل العكسى؛ بتمرير محلول ملحى (كلوريد صوديوم) خلال طبقة الزيوليت المستنفذ، حيث يستبدل كاتأيون الكالسيوم والمغنسيوم فى الزيوليت بكاتأيون الصوديوم، ويستعيد الزيوليت نشاطه كالآتى: التبادل الكاتأيونى لإزالة العسر:

$$2\,NaR + \left.\begin{matrix} Ca^{++} \\ Mg^{++} \end{matrix}\right\} \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} \cdot R + 2\,Na^{+}$$

التبادل لتنشيط الكاتأيون بالمحلول الملحى:

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} R + 2\,NaCl \rightarrow 2NaR + \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \end{matrix}\right\} Cl_2$$

يوضح الشكل رقم (٥/١) نظام عمل جهاز إزالة العسر بالزيوليت، وهو يشبه مرشح الضغط، حيث يوضح الزيوليت، وهو يشبه مرشح الضغط، حيث يوضع الزيوليت فى مكان الوسط الترشيحى. تدخل المياه العسر من أعلا، ثم توزع بانتظام على سطح طبقة الزيوليت، ثم تجمع المياه المزال عسرها عند القاع. بعد استنفاذ كاتأيون الصوديوم من الزيوليت ينشط بتمرير محلول ملحى بتركيز ٥-١٠% خلال طبقة الزيوليت. يلى ذلك إزالة الزيادة من المحلول الملحى بغسيل المياه بمياه نظيفة. يعمل جهاز إزالة العسر بالزيوليت، إما بالهواء المضغوط أو بالجاذبية. معدل تدفق المياه العسر ٣٠٠ لتر فى الدقيقة/المتر المربع من سطح طبقة الزيوليت. يزيل الزيوليت الكاتأيونى العسر الكلى من الماء. وفى حالة

عدم الحاجة إلى الإزالة الكاملة للعسر، يخلط جزء من الماء اليسر مع جزء آخر من المياه العسر؛ لتوفير مخلوط مناسب للاستخدام، كما في حالة مياه الشرب؛ حيث العسر المطلوب هو ٨٥ جزءًا في المليون (مقيم ككربونات كالسيوم).

عملية إزالة العسر بالزيوليت يمكنها كذلك إزالة الحديد والمنجنيز المذاب في حالة مياه الآبار المحتوية على الحديد والمنجنيز. ونظرًا لأكسدة أملاح الحديد والمنجنيز المذابة في مياه الآبار، عند تعرضها للهواء الجوى؛ حيث تتحول إلى الأملاح غير المذابة بما يسبب تراكمًا وانسدادًا في مسام طبقة الزيوليت. لذلك فإنه عند إزالة عسر المياه الجوفية المحتوية على الحديد والمنجنيز، يتم عدم تعرض المياه للهواء الجوى حتى لا تتأكسد وترسب، بل تضخ مباشرة في المواسير من البئر إلى وحدة إزالة العسر. كما يجب كذلك التأكد من خلو المياه الجارى إزالة عسرها من المواد العالقة والعكارة أو من الملوثات البيولوجية.

إزالة القلوية: (Dealkalizers)

المياه التي أزيل عسرها باستخدام زيوليت الصوديوم، تحتوى عادة على كمية كبيرة من بيكربونات الصوديوم زيادة عن الحد المقبول في مياه تغذية الغلايات. في الغلايات تتحلل بيكربونات الصوديوم إلى كربونات الصوديوم وثاني أكسيد الكربون، هذا بالإضافة إلى أن بعض مركبات الصوديوم تتحول إلى الصودا الكاوية وثاني أكسيد الكربون، وهذا يمر مع البخار ويسبب تأكل وتلف لشبكة البخار وخفض لكفاءة البخار. عند مرور المياه لإزالة العسر خلال دورة الكاتأيون، فإن القلوية تتحول إلى حامض لكربونيك ($CO_2 + H_2O$)، حيث يزال ثاني أكسيد الكربون في سخانات طرد الغازات الموجودة في كل غلاية. ولكن ثاني أكسيد الكربون في البخار يكون نتيجة تحلل الكربونات والبيكربونات، عند درجة حرارة تشغيل الغلاية.

لإزالة القلوية المسببة لإنتاج ثانى أكسيد الكربون، فإنه يتم تمرير المياه التى أزيل عسرها بالمبادل الكاتأيونى للصوديوم إلى مبادل آن أيونى (حامضى) للكلوريد

$$RCL + Na\left\{\begin{array}{l} HCO_3 \\ SO_4 \\ NO_3 \\ CO_3 \end{array}\right. \rightarrow R\left\{\begin{array}{l} HCO_3 \\ SO_4 \\ NO_3 \\ CO_3 \end{array}\right. + NaCL$$

تفاعلات راتنج زيوليت الكلوريد الآن أيونى تشمل أملاح الكبريتات، الكربونات، النترات، البيكربونات. ناتج التبادل أملاح الكلوريدات التى تذوب فى الماء. عملية التنشيط تتم باستخدام محلول ملحى كذلك:

$$RHCO_3 + Nacl \rightarrow RCL + Na\ HCO_3$$

يفضل أن يتم تنشيط الراتنج بمحلول الملح والصودا الكاوية. وهذا يحقق إزالة كبيرة لثانى أكسيد الكربون المتحد وغير المتحد، بالإضافة إلى التخلص من آن أيون الكبريتات والسيليكا. توجد السيليكا فى مصادر المياه بأقصى تركيز عدة ملجرامات/لتر. إزالة السيليكا أساسى فى حالة الغلايات ذات الضغط المرتفع. السيليكا تتراكم على الراتنج الآن أيونى، ويمكن أن تكون بوليمر مع الراتنج الآن أيونى، وكذلك عند التنشيط باستخدام الملح والصودا الكاوية، يكون استخدام الصودا الكاوية ليس فقط لتنشيط الآن أيونات، ولكن لإزالة بلمرات السيليكا.

٤- التطبيقات التكنولوجية لتغذية الغلايات بالمياه:

معالجة مياه تغذية الغلايات هدفها هو عدم وجود ترسيبات (Scales) أو رواسب (Sludge) أو تآكل أو حمل لمواد أخرى، تكون ترسيبات فى مياه الغلايات.

(Prevent Scale, Sludge, Deposition, Corrosion, Carry Over)

تعتبر معالجة المياه أساسية لتغذية الغلايات، سواء كانت ذات ماسورة مياه أو ذات ماسورة لهب، وسواء كانت الغلاية تعمل بالضغط

المنخفض أو المتوسط أو المرتفع. فى درجة حرارة الغلاية تتكون قشور (Scales) من عسر الكربونات وغير الكربونات (العسر المؤقت والعسر المستديم).

تحلل عسر الكربونات للكالسيوم والمغنسيوم كما فى المعادلة.

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O + CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$MgCO_3 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2O$$

ينطلق ثانى أكسيد الكربون مع البخار، بينما ترسب القشور من كربونات الكالسيوم وأيدروكسيد المغنسيوم. تحدث الترسيبات عند انخفاض الإذابة لهذه الأملاح، وذلك بتكون بلورات من المحلول المشبع، عندما تتكون طبقة رقيقة من المياه على سطح ماسورة الغلاية، والتى تكون مركزة وخاصة فى حالة بطء سرعة المياه. نتيجة لذلك تزداد الإذابة لأملاح الكالسيوم والمغنسيوم فى هذه الطبقة؛ مما يترتب عليه تكون بلورات الرواسب (Scales) على السطح الساخن مباشرة، وذلك على السطح الداخلى لمواسير المياه والخارجى لمواسير اللهب.

هذه الترسيبات تعمل على خفض قدرة الغلاية على التوصيل الحرارى، حيث تعمل كطبقة عزل رقيقة بين الماء واللهب. مع زيادة الترسيبات، يزداد تأثير العزل الحرارى والذى يصل إلى مرحلة الخطر؛ حيث يحدث تلف لمعدن الماسورة، وبالتالى خسارة كبيرة نتيجة لانفجار الغلاية فى بعض الحالات. هذا بالإضافة إلى أن أملاح كبريتات الكالسيوم هو الملح الوحيد بين أملاح غير الكربونات، الذى يكون ترسيبات قشرية (Scales).. كما أن السبب الآخر لتكون الترسيبات هو ترسيبات السيليكا الزجاجية الصلبة بما يتطلب إزالة الكبريتات أوالسيليكا بالتبادل الآن أيونى، أو المحافظة على النسبة بين القلوية وكل من السيليكا والكبريتات، وبهذا تستمر هذه الأملاح فى المحلول ولا ترسب.

أ-المعالجة الخارجية والمعالجة الداخلية لمياه التغذية للغلايات:

(١) المعالجة الخارجية:

إزالة العسر لمياه تغذية الغلايات بالتبادل الكاتأيونى للصوديوم هو الأكثر استخدامًا للمعالجة الخارجية للغلايات، التى تعمل بالضغط المنخفض. ميزة هذه الطريقة هى الإزالة الكاملة للكالسيوم والمغنسيوم، ولكنها لا تعمل على خفض القلوية، والذى يعتبر ضروريًا أحيانا لتوفير كفاءة الأداء للغلاية، ويتم ذلك بإحدى الطرق الآتية:

- التبادل الآن أيونى بمبادل أيون الكلوريد، كما سبق توضيحه.
- التبادل الكاتأيونى بالصوديوم والهيدروجينى بتجزئة المياه، وهذه الطريقة تحقق خفضًا فى المحتوى من المواد الصلبة المذابة، يقابله خفض فى القلوية.

(٢) المعالجة الداخلية:

تستخدم مركبات مختلف للمعالجة الداخلية للغلاية، منها: خفض العسر باستخدام أملاح الفوسفات، التى تتحول فى الغلاية إلى فوسفات الصوديوم الثلاثي (Trisoduim- Phosphate). وهو راسب فى شكل زغبات عالقة (Floc's) كمواد ترويب، بينما تترسب أملاح المغنسيوم بواسطة القلوية الكلية إلى أيدروكسيد المغنسيوم غير المذاب. ولمنع ترسيب أملاح الفوسفات وأيدروكسيد المغنسيوم والتصاقها بالأسطح الساخنة، مع استمرار هذه المواد عالقة فى السائل تستخدم المواد العضوية المناسبة، التى تعمل على تغطية الرواسب وتغلفها (Chelating Agents) ومنعها من الالتصاق.

تستخدم المعالجة الداخلية فقط للغلايات، التى تعمل تحت ضغط منخفض. الغلايات ذات الضغط المتوسط أو المرتفع تحتاج إلى

المعالجة الداخلية والخارجية لإزالة العسر المتبقى والسيليكا والأكسجين وبعض المواد.

ب- حدود التركيز للمواد الصلبة المذابة طبقًا لضغط ودرجة حرارة الغلاية:

نظرًا لأن كل المواد الصلبة المذابة والعالقة التى تدخل الغلاية تزداد باستمرار مع استمرار التغذية بالمياه (التعويض)؛ حتى يصل التركيز إلى عدم كفاءة الغلاية، أى حتى حدوث زبد ورغاوى (Priming and Foaming). الزبد هو خروج الماء مع البخار، والرغاوى هى خروج فقاعات مع البخار، وكلاهما هو حمل للمواد الصلبة والرطوبة مع البخار. يختلف التركيز النوعى الذى تحدث عنده هذه الظاهرة؛ طبقًا لنوع وكمية المواد المذابة، ووجود أو عدم وجود مواد عالقة. كلما زاد ضغط التشغيل، يلزم زيادة الخفض للمواد الصلبة المذابة فى مياه التغذية للغلايات، التى تعمل بضغط أكبر من ٦٠٠ رطل/البوصة المربعة؛ حيث يلزم الإزالة الكاملة للأملاح من مياه التغذية.

لحماية معدن الغلاية من التآكل وكذلك مواسير البخار وبقية المكونات حيث قد يحدث التآكل إما بسبب الحموضة أو الأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون. لذلك يلزم المحافظة على الرقم الهيدروجينى ليكون مرتفعًا مع التخلص من غازات الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بسخانات إزالة الغازات. كما يمكن التخلص من الأكسجين المذاب باستخدام سلفيت الصوديوم أو الهيدرازين باستخدام سخانات إزالة الغازات.

٥- إزالة الأملاح بالتبادل الأيونى: شكل (٢/٥) (Demineralization)

فى حالة استخدام المياه لتغذية الغلايات ذات الضغط العالى فإنه يلزم الإزالة الكاملة للأملاح. تتم الإزالة بالتبادل الأيونى حيث كاتأيون المبادل الأيونى يكون بتبادل أيون الهيدروجين، والتنشيط باستخدام

حامضى الكبريتيك، والمبادل الآن أيونى بتبادل أيون الإيدروكسيد، والتنشيط باستخدام الصودا الكاوية كما فى المعادلات الآتية:

أ-الكاتأيون:

$$HR + \begin{matrix} Ca^+ \\ Mg^+ \\ Na^+ \end{matrix} \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca^+ \\ Mg^+ \\ Na^+ \end{matrix}\right\} R + H^+$$

التنشيط

$$\left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na \end{matrix}\right\} R + H_2SO_4 \rightarrow \left.\begin{matrix} Ca \\ Mg \\ Na \end{matrix}\right\} SO_4 + HR$$

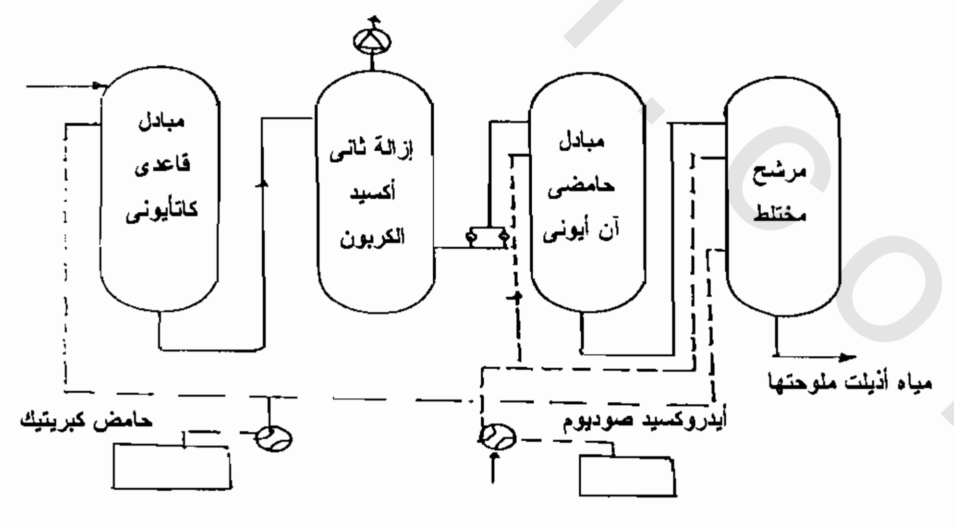
ب-الآن أيون:

$$ROH + \begin{matrix} H_2CO_3 \\ H_2SO_4 \\ HNO_3 \end{matrix} \rightarrow R \left\{\begin{matrix} CO_3 \\ SO_4 \\ NO_3 \end{matrix}\right. + H_2O$$

التنشيط

$$R \left\{\begin{matrix} CO_3 \\ SO_4 \\ NO_3 \end{matrix}\right. + NaOH \rightarrow \begin{matrix} H_2CO_3 \\ H_2SO_4 \\ H\ NO_3 \end{matrix} + R\,Na$$

تتم عملية إزالة الأملاح أما فى كل المبادل الكاتأيونى والمبادل الآن أيونى على التوالى، أو فى المبادل الأيونى ذى الطبقة المختلطة من المبادلات الكاتأيونية والمبادلات الآن أيونية.



شكل (٢/٥): جهاز إزالة الملوحة (بالتبادل الآيونى).

٦- المياه المستخدمة فى الأغراض الطبية:

مياه الحقن (Injection):

تزال الملوحة من مياه الصنبور على مرحلتين بالتقطير الحرارى أو بالديلزة الكهربية (Electrodialysis)، ثم يلى ذلك التنقية بالتناضح العكسى (Reverse Osmosis)؛ للوصول بالمياه إلى حد الملوحة الذى لا يمكن اكتشافه بالتحاليل المعملية. يلى ذلك التعقيم بغلى الماء فى وعاء ضغط (Autoclave) لمدة ٣٠ دقيقة، عند درجة حرارة ١٣٠°م، ثم توضع المياه فى أوعية زجاجية معقمة بالأزون.

جدول (١): حدود التركيز لمياه الغلايات طبقًا لضغط التشغيل للحصول على بخار بنوعية جيدة.

ضغط الغلاية رطل على البوصة المربعة	مواد صلبة مذابة جزء فى المليون	قلوية كلية جزء فى المليون، مقيمة ككربونات كالسيوم	مواد صلبة عالقة جزء فى المليون	السيليكا جزء فى المليون
صفر-٣٠٠	٣٥٠٠	٧٠٠	٣٠٠	١٢٥
٣٠١-٤٥٠	٣٠٠٠	٦٠٠	٢٥٠	٩٠
٤٥١-٦٠٠	٢٥٠٠	٥٠٠	١٥٠	٥٠
٦٠١-٧٥٠	٢٠٠٠	٤٠٠	١٠٠	٣٥
٧٥١-٩٠٠	١٥٠٠	٣٠٠	٦٠	٢٠
٩٠١-١٠٠٠	١٢٥٠	٢٥٠	٤٠	٨
١٠٠١-١٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠	٢٠	٢,٥
١٥٠١-٢٠٠٠	٧٥٠	١٥٠	١٠	١
أكبر من ٢٠٠٠	٥٠٠	١٠٠	٥	٠,٥

أقصى تركيز للسيليكا (Si) فى البخار لا يزيد عن ٠,٢ إلى ٠,٣ جزء فى المليون.

ثانياً: إزالة الملوحة للمياه المالحة والحمضاء:

(Desalination of sea water And Brakish water)

<u>١- أنواع المياه طبقاً لدرجة مكونتها:</u>

١- مياه عالية التركيز (Brine) – الملوحة أكثر من ٣٠٠٠٠ ملجرام / لتر.

٢- مياه البحر من ١٠٠٠٠ – ٣٠٠٠٠ ملجرام /لتر.

٣- مياه حمضاء (Brakish water) من ١٥٠٠ – ١٠٠٠٠ ملجرام / لتر

٤- مياه الشرب من ٣٠٠ – ١٥٠٠ ملجرام /لتر

٥- مياه الاستخدامات الصناعية من ٣٠ – ٣٠٠ ملجرام / لتر.

٦- مياه خالية من الأيونات من ٣-٣٠ ملجرام /لتر

٧- مياه خالية من الأيونات لتغذية الغلايات عالية الضغط من ٠,٣ – ٣ ملجرام/لتر

٨- مياه عالية الإزالة من الأيونات للصناعات الإليكترونية من ٠,٠٠٣ – ٠,٣ ملجرام/لتر

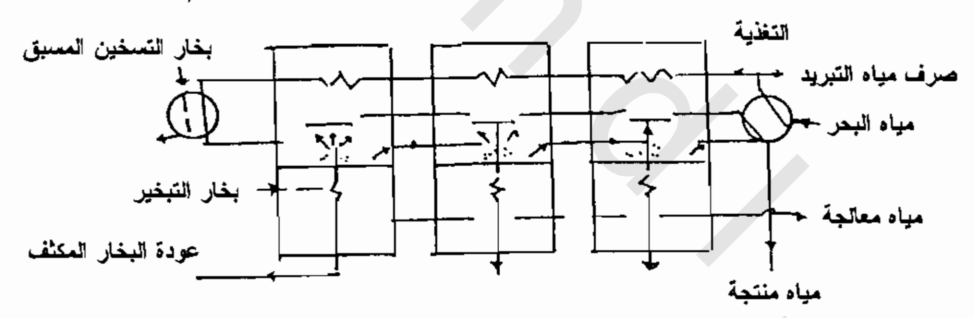
<u>٢- إزالة الملوحة من المياه تتم بطريقتين أساسيتين، وهما: بالحرارة أو بالغشاء:</u>

<u>أ- إزالة الملوحة بالطريقة الحرارية (Thermal Desalination)</u>

النظام المستخدم على نطاق واسع لتحويل المياه المالحة إلى مياه صالحة للاستخدام للشرب أو لرى الأراضى، هو نظام التقطير الحرارى. فى هذه الطريقة يتم غلى الماء للحصول على بخار المياه النقى، وسائل تتبقى به أملاح مركزة، ثم يتم تكثيف بخار الماء واستخدامه. ولتحقيق الاقتصاد فى الطاقة الحرارة المستخدمة، يستخدم النظام متعدد التأثير (Multi Effect System)؛ حيث تدفع أبخرة المياه النقية المنتجة فى المرحلة الأولى بغلى الماء المالح بطريقة مناسبة إلى المرحلة الثانية؛ حيث يتكثف بخار الماء، وتنطلق الطاقة الحرارية الكافية لتحويل المياه المالحة إلى بخار ماء. باستخدام هذه العملية يمكن إنتاج رطل من المياه المحلاة باستخدام وحدة طاقة حرارية (IBTU/ Ib of water).

طريقة العمل للمبخر متعدد التأثير، موضحة فى الشكل (٥/٣). المياه المالحة من ملوحة ١٥٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠ ملجرام فى اللتر يتم تسخينها بالتدريج بطريقة المبادلات الحرارية، بواسطة تكثيف البخار فى عدد مساوٍ من غرف التبخير. مياه البحر التى تم تسخينها تدخل غرف التبخير الأكثر سخونة، عند درجة حرارة ما بين ٦٠ – ١٠٠°م عادة، ثم تبخر جزئياً بواسطة بخار من مصدر خارجي.

البخار الناتج يمر إلى المؤثر الثانى بعد سحب البخار المكثف (المستخدم فى التسخين المسبق) – فى الوقت نفسه، فإن المياه المالحة التى لم يتم تبخيرها فى المؤثر الأول تدفع (Flashed) إلى المؤثر الثانى. يحدث تبخير آخر فى المؤثر الثانى ما بين البخار الداخل والمياه المالحة المحررة من الضغط. ثم يكرر العمل فى كل من المؤثرات التالية، والتى يصل عددها إلى ٢٠ أو أقل من ١٠، قبل تكثيف بخار آخر غرفة تأثير وسحب المياه المالحة (المركزة). طاقة الضخ اللازمة للمبخر متعدد التأثير، هى عادة من ٢ – ٣ كيلوات ساعة / المتر المكعب.



شكل (٥/٣): نموذج مبسط لعمل المبخر متعدد التأثير.

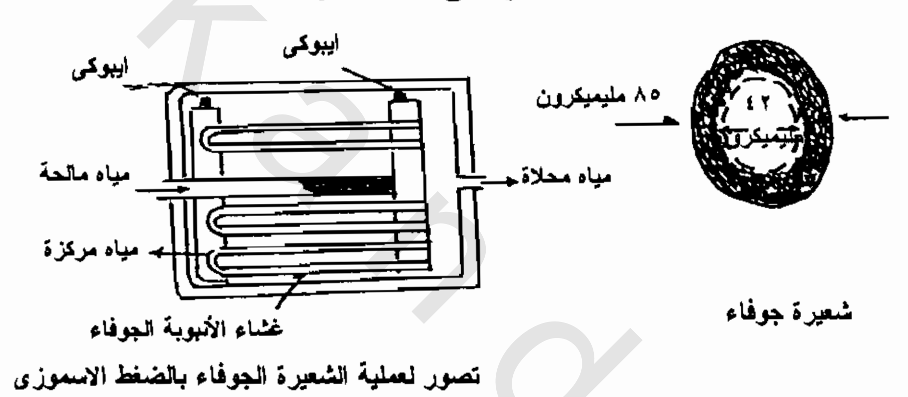
المياه المعالجة بالطرق الحرارية تحتاج إلى معالجات خاصة قبل المعالجة لتجنب الترسيبات (Scales) على أسطح التسخين الحرارة، كما أنها تحتاج إلى معالجة كيميائية بعد تكثيفها؛ لتكن صالحة للاستخدام، كما فى حالة ضبط الرقم الهيدروجينى لإزالة آثار المعالجة الكيماوية المسبقة قبل التبخير.

٢- إزالة الملوحة بعمليات الغشاء: (Membrane Processes):

عمليات الأغشية تشمل فصل الأملاح المذابة باستخدام الغشاء، بعدة طرق: التناضح العكسى (Reverse Osmosis)، الديلزة الكهربية (ED) (Electrodialysis)، الترشيح بأنواعه (الفائق، النانو، الميكرو).

أ- التناضح العكسى (R.O.): شكل (٤ / ٥).

التناضح العكسى هو باستخدام غشاء يعمل كمرشح لجزئيات المواد المذابة، حيث يزيل ٩٠% من كل الأملاح المذابة، ٩٧% من كل المواد العضوية المذابة، أكثر من ٩٨% من المواد الغروية (Colloidal) والبيولوجية من الماء التى تركيزاتها تكون حتى ٥٠٠٠٠ جزء فى المليون أو أكثر.



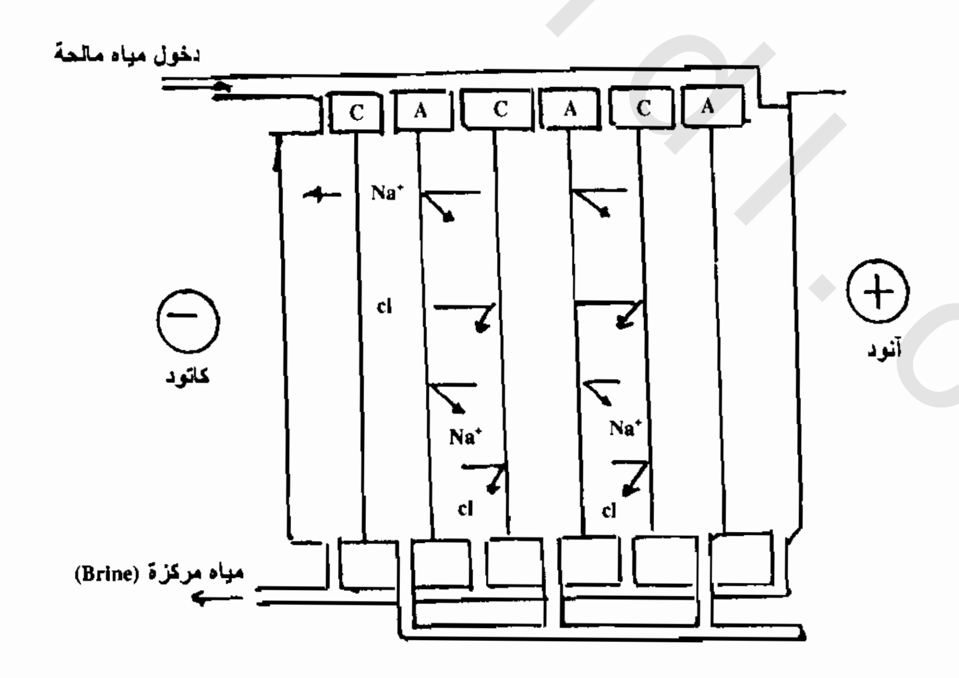
شكل (٤/٥): الشعيرة الجوفاء.

الأغشية المستخدمة من مواد مختلفة مثل أسيتات السيليوز والبولى أميد. تدفق المياه خلال الغشاء يتوقف على الضغط المستخدم، ولهذا تزداد كمية المياه المنتجة مع زيادة الضغط، ويقل معدل تدفق المياه خلال الغشاء مع زيادة ملوحة المياه المالحة؛ نظرا لزيادة الضغط الأسموزى. ويتوقف معدل الإنتاج على نوعية المياه ومدى تشبع الغشاء بالرواسب مثل كبريتات الكالسيوم وكبريتات الباريوم. الأغشية المستخدمة عادة فى تنقية المياه هى ذات الشكل الحلزونى،

الأغشية الرقيقة الجوفاء – كما يلزم إزالة المواد الصلبة العالقة والعكارة من المياه قبل معالجتها.

ب- الديلزة الكهربية: (Electrodialysis): شكل (٥/٥)

الديلزة الكهربية هى عملية فصل كهروكيميائية؛ حيث تنتقل الأيونات من محلول أقل تركيزًا إلى محلول أكثر تركيزًا، خلال أغشية آن أيونية وأغشية كاتأيونية؛ بفعل تدفق تيار كهربى ثابت (DC). فى مصفوفة الأغشية بالديلزة الكهربية، يتم ضخ المياه المحتوية على الأيونات المذابة خلال مجرى من البولى إيثيلين بين الغشاء الكاثايونى والغشاء الآن أيونى. تمر الأيونات السالبة خلال الغشاء الآن أيونى، بينما الأيونات الموجبة تحتجز – وعلى العكس الأيونات الموجبة تمر خلال الغشاء الكاتأيونى بينما الأيونات السالبة تحتجز. وهذه الأيونات المارة خلال الأغشية الآن أيونية والكاتأيونية تجمع فى غرفة التجميع، وتكون المحلول المحلى المركز (Brine).



شكل (٥/٥): نظام المصفوفات للديلزة الكهربية.

أغشية الديلزة الكهربية هى أغشية موصلة للكهرباء، وهى غير منفذة للمياه تحت ضغط – بدلاً من الديلزة الكهربية التقليدية فى الاتجاه الواحد، فقد استخدمت الديلزه الكهربية العكسية (Electrodialysis Reversal - EDR) لعكس الأقطاب طبقًا لدورة زمنية محددة، وهى حوالى ١٥ – ٢٠ دقيقة، حيث التغير فى الشحنة الكهربية للقطب عبر منظومة الغشاء يغير فى اتجاه حركة الأيونات، ويحدث ذلك آليًا باستخدام المحابس لتغيير مسار تدفقات المياه. القطبية المعكوسة (E D R) توفر الغسيل الآلى للمواد المكونة للترسيبات من على سطح الغشاء.

جـ- أغشية الترشيح:

١ - الترشيح الفائق: (Ultra Filteration)

الترشيح الفائق هو عملية ترشيح، تتم بالضغط لتركيز المحاليل المحتوية على مواد هلامية غروية ومواد ذات وزن جزيئى عالٍ – الترشيح الفائق يحجز المواد غير الأيونية (Non Ionic)، وعموماً يمرر المواد المذابة الايونية، وذلك طبقاً لقدرة الحجز للوزن الجزئى للغشاء، وكذلك على شكل الجزيئ وحجمه وشحنته.

٢ - النانوفلتر (Nanofilter - NF):

يسمى النانوفلتر غشاء إزالة العسر، ونانوتعنى ($١ / ١٠^{-٩}$)، وهذا هو حجم الثقب فى الغشاء.. النانوفلتر غشاء يعمل بضغط منخفض جدًّا، ويمر فقط الأجسام أصغر من واحد نانو، وبذلك يشبه إلى حد ما خصائص غشاء الترشيح الفائق والتناضح العكسى. يعمل غشاء النانوفلتر عند مجال وزن جزيئى مرتفع أكثر من التناضح العكسى. وبذا فإنه لا يمرر نسبة عالية من الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنسيوم، ويمرر الأحادية التكافؤ بنسبة عالية.

٣- الميكروفلتر (Micro filteration)

الميكروفلتر يعمل على ترويق المياه والسوائل الاخرى، وذلك بحجز الأجسام العالقة والكائنات الدقيقة على سطح الغشاء أو داخل المرشح، بينما يمرر المواد المذابة والماء؛ فهو يمرر الأجسام ذات الحجم الميكرومترى ($١٠^{-٦}$ مليمتر).

رابعا: المعالجات الخاصة لمياه الصرف الصحى لحماية البيئة المائية:

١- إزالة الفوسفور من مياه الصرف الصحي:

المصدر الرئيسى للفوسفور فى مياه الصرف الصحى والصرف الزراعى، هو المخلفات الآدمية (وخاصة البول)، ومركبات الفوسفور المركزة الموجودة فى المنظفات الصناعية، فى حالة مياه الصرف الصحى، وفى حالة مياه الصرف الزراعى يكون نتيجة استخدام الأسمدة الفوسفاتية.

مركبات الفوسفور تعتبر ضارة للكائنات المائية من الأسماك، كما أنه يعتبر غذاءً جيدًا للنباتات المائية، ولهذه الأسباب يلزم إزالته من مياه الصرف الصحي. أقل من ١٠% من الفوسفور في مياه الصرف الصحي يكون غير مذاب؛ حيث يمكن إزالته بالمعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي. المعالجة الثنائية تحول جزءاً من الفوسفور المذاب إلى الكتلة البيولوجية، التي يتم التخلص منها في شكل حمأة مرسبة.

ونسب الإزالة هذه تكون عمومًا في حدود ٣٠-٤٠% من الفوسفور الموجود في مياه الصرف الصحي. أما بقية الفوسفور الموجود، فالطريقة الوحيدة لإزالته هي بالترسيب الكيماوي باستخدام أملاح الترويب، مثل: كلوريد الحديديك، كبريتات الحديديك، كبريتات الحديدوز، الشبة، الجير المطفي، ألومينات الصوديوم. ونسبة الإزالة للفوسفور باستخدام أملاح الترويب هي ما بين ٧٥-٩٥%، نسبة الإضافة من ملح المروب هي من ١,٤-٢,٤ جزئ من المروب/

جزئ من الفوسفور. يضاف المروب لإزالة الفوسفور عادة بـــالخلط في مسار تدفق المياه إلى حوض الترسيب الأولى.

أما لإزالة الفوسفور من مياه الصرف الزراعي، فهذا يعتمد على كميـــة استخدام الأسمدة الفوسفورية، والعمل على الحد منها.

<u>٢- إزالة النيتروجين من مياه الصرف الصحي:</u>

يتحول النيتروجين العضوي في مياه الصـــــرف جزئيًّـــا أو كليًّـــا إلـــى الأمونيا. مياه الصرف ذات التركيز العالي مـــن الأمونيـــا والمركبـــات النيتروجينية الأخرى تتطلب إزالة هذه المواد منها؛ وذلك نظرًا لسـميتها على الكائنات المائية الحيوانية (لوجود الأمونيا والنيـــتريت أساسًـــا)، أو لكون هذه المواد غذاءً للكائنات المائية النباتية؛ حيث يســـاعد وجودهـــا على تكاثر ونمو هذه النباتات بما يقلل من تدفق المياه فـــي المصـــارف الزراعية.

عملية النترجة هي خلق مجال حمضي بالبكتريا ذاتية التغذية لنيـــتروجين أملاح الأمونيا لتكوين النيتريت والنترات بعد ذلـــــك. ولنجـــاح عمليـــة النترجة، فإنه يجب المحافظة على الرقم الهيدروجيني مـــا بيـــن ٧,٥/٧ (في حالة ارتفاع الرقم الهيدروجيني، يتم إضافـــــة الجـــير المطفـــي أو الصودا آش)، وكذلك يتم المحافظة على المحتوى من الأكسجين المذاب، في حدود ٢ملجرام/لتر. لعمل النترجة تستخدم أي تجـــهيزات أحـــواض تهوية، أو مرشحات بيولوجية، أحواض أكسدة... إلخ.

تستخدم النترجة البيولوجية كمرحلة أخيرة في معالجة المياه، وذلك عنـــد صرف هذه المياه على المسطحات المائية. غالبـــا مـــا تكـــون مرحلـــة النترجة هي مرحلة وسيطة مرحلة بيولوجية تالية لإزالـــة النيـــتروجين (Denitrifi-cation).

عملية إزالة النيتروجين هي عملية اختزال بيولوجي لأكسجين النـــــترات والنيتريت إلى الأكاسيد والنيتروجين الحر (N_2). لنجاح هذه العملية يلزم

وجود مواد عضوية معينة، والتي تتحلل سريعا بالطرق البيوكيماوية. البكتريا المختزلة للنترات والموجودة بكميات كبيرة في مياه الصرف يمكن أن تؤكسد أنواعا كثيرة من المواد العضوية مثل الهيدروكربونات والكحولات والأحماض العضوية. في حالة تنفيذ عملية إزالة النيتروجين بالمعالجة البيولوجية؛ حيث تكون مياه الصرف خالية من المواد العضوية الأولية، عندئذ عادة يستخدم الكحول الميثيلي (Methanol) كغذاء من الهيدروكربونات للكائنات الدقيقة، وهو لا يسبب تلوثا لمياه الصرف المعالجة.

أفضل رقم هيدروجيني لعملية إزالة النترجة هو ما بين ٦-٨,٥، كما أن تركيز الأكسجين الذي لا يزيد عن ٠,٥ ملجرام/لتر ليس له تأثير إعاقة على العملية؛ حيث ما زاد عن ذلك يمكن أن يسبب إعاقة للعملية.

عملية إزالة النترجة على خلاف عملية النترجة حيث تزيد القلوية، ولكن تحول الميثانول إلى الحالة الحامضية، فإنه يعمل كعامل درء (Buffer) لزيادة الرقم الهيدروجيني. لذلك.. فإن عمليات النترجة وإزالة النيتروجين يجب أن تتم بالتالي في ظروف هوائية، وفي ظروف محدودة المحتوى من الأكسجين المذاب، وفي وجود الكربون العضوي؛ حيث يمكن أن تتم في أحواض التهوية مع زيادة زمن المكوث، في إحدى المناطق تحدث أكسدة لنيتروجين الأمونيا إلى النيتريت والنترات، وفي المناطق الأخرى يحدث الاختزال للنترات.

التنقية المؤثرة والاقتصادية لتنفيذ هذه العمليات، تتم في قنوات أكسدة ذات شكل دائري طويل (بيضاوي) حيث يكون القطر في أوسع جزء من ٣٠,٥ إلى ١٥٢,٥ مترا. يتم توفير معدات تهوية على طول القناة بطريقة تسمح بوجود مناطق مهواه ومناطق غير مهواة بالتتالي (تغيير هذه المناطق على الأقل مرتين).

يمكن كذلك أن تتم عمليات النترجة وإزالة النيتروجين في حوض التهوية، وفي أحواض الترسيب، وذلك بإيقاف نظام التهوية من آن

لآخر وبذا توجد حالات هوائية ولا هوائية. أكـبر تكلفـة تكـون عنـد المعالجة بإنشاءات خاصة.

عموما، كفاءة إزالة المركبات النيتروجينية من مياه الصـرف بـالطرق البيولوجية بالنترجة وإزالة النترجة، تصل إلى ٧٠-٩٠%. مـن بيـن عيوب المعالجة البيولوجية زمن المكوث الطويـل للسـائل، الحساسـية لصدمات التحميل، السمية مع المحافظة على درجة الحرارة.

<u>٣- الكلورة لمياه الصرف الصحي المعالجة:</u>

للقضاء على الملوثات البكتيرية الحاملة للأمراض الوبائية، فإنه يتم حقن جرعة كلور لمياه الصرف المعالجة، ثم المعالجة بعامل مخـتزل مثـل ثاني أكسيد الكبريت لاختزال الكلور المتبقي، وذلك قبل الصرف علـى المسطحات المائية.